4.　限界状態設計法の観点からの設計法の比較

土木鋼構造物の設計に対する基準・示方書・標準・指針などの技術基準類は，特定の目的をもつ構造物に適用される．これらの既存の設計基準は，地震，活荷重等の外力の再評価や材料，施工法等の進歩に伴って設計法の見直しが行なわれるとともに，限界状態設計の考え方を取り入れて改訂がなされている．

ここでは，一般的な鋼構造物の性能設計の基準化を念頭において，国土交通省の「土木・建築にかかる設計の基本(2002)」[1)]および土木学会鋼構造委員会の「鋼・合成構造標準示方書(2007)」[2)]の限界状態設計法に係る条文，規定を中心に，以下の項目に分類して整理する．さらに，これらの項目にしたがって，現行の港湾，鉄道，道路，エネルギー分野における鋼構造物の設計基準の内容を記述し，相違点・共通点を比較検討するための基礎資料とする．

4.1　設計基準の比較項目

4.1.1　設計の基本

(1) 設計対象・範囲

多くの設計基準は特定の構造物を対象としており，対象とする構造物の範囲や規模等を規定している．対象となる構造物に準拠すべき設計基準がある場合には，そこに見られる条文や規定が優先される．

(2) 設計供用期間

「土木・建築にかかる設計の基本」では，設計対象とする構造物の設計供用期間を定めることとしている．

(3) 要求性能

「土木・建築にかかる設計の基本」では，設計対象とする構造物の設計供用期間において以下の基本的要求性能を確保することとしている．

a) 想定した作用に対して構造物内外の人命の安全性等を確保する（安全性）．

b) 想定した作用に対して構造物の機能を適切に確保する（使用性）．

c) 必要な場合には，想定した作用に対して適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行うことで継続的な使用を可能とする（修復性）．

構造物の要求性能については，様々な考え方があるが「鋼・合成構造標準示方書(2007)」では，設計対象とする構造物に要求すべき基本的性能とそれぞれ必要な性能項目を**表-4.1.1** のように整理し，設定の設計供用期間において基本的要求性能を確保することとしている．

表-4.1.1　構造物の基本的要求性能と性能項目の例

基本的要求性能	基本的要求性能の性能項目の例	
安全性	構造安全性(耐荷力，安定性，他)	耐久性(疲労，腐食，材料劣化)
	公衆安全性(落下物等第三者への被害)	
	地震時の安全性(耐荷力，変形性能，安定性)	
	施工時の安全性 (耐荷力，安定性，初期健全性他)	
使用性	利用者の使用性(走行性，歩行性)	
	地震後の使用性(走行性，歩行性)	
	構造物管理者の使用性(維持管理(点検，塗装等)の容易性)	
修復性	地震後の修復性(地震時の損傷に対する修復)	
	維持管理性(経年変化に対する修復性，点検の容易性)	
社会・環境適合性	社会的適合性(社会的重要度の考慮)	
	経済的合理性(LCC,LCU)	
	環境適合性(騒音・振動，環境負荷(LCA)，景観　他)	
	施工時の環境適合性(騒音・振動，環境負荷)	

注） LCC:ライフサイクルコスト，LCU:ライフサイクルユーティリティ(ライフサイクルにおける社会的・経済的な効用)，LCA:ライフサイクルアセスメント

さらに，設計では，それぞれの性能項目ごとに性能レベル（構造物に要求される性能のレベルで，各要求性能に対して必要に応じて設定される.）を明示し，照査項目，照査指標を設定し照査を行なわなければならない．**表-4.1.2** に性能項目に対する照査項目，照査指標の例を示す.

表-4.1.2　要求性能の分類

要求性能	性能項目	照査項目の例	照査指標の例
安全性	構造安全性	部材耐力，鋼造系全体の耐荷力，安定性，変形性能等	断面力，応力
	公衆安全性	利用者および第三者への被害（落下物等）	―
使用性	走行性	通常時の走行性（路面の健全性，剛性）	路面の平坦度，桁のたわみ
	歩行性	通常時の歩行性（歩行時の振動）	桁の固有振動数
修復性	地震後の修復性	損傷レベル（損傷に対する修復の容易さ）	応答値（損傷度）/限界値（損傷度）
耐久性	耐疲労性	変動作用による疲労耐久性	等価応力範囲/許容応力範囲
	耐腐食性	鋼材の防錆・防食性能	腐食環境と塗装仕様，LCC
	材料劣化抵抗性	コンクリートの劣化	水セメント比，かぶり
	維持管理性	維持管理（点検，塗装など）の容易さ，損傷に対する修復の容易さ	―
社会・環境適合性	社会的適合性	部分係数の妥当性（構造物の社会的な重要度の考慮）	部分係数（構造物係数等）
	経済的合理性	構造物のライフサイクルにおける社会的効用	LCC，LCU
	環境適合性	騒音・振動，環境負荷（CO2排出），景観等	近隣住民に対する騒音・振動レベル，CO2，構造形式・塗装色による景観創造性，モニュメント性等
施工性	施工時安全性	施工時の安全性	断面力，応力度，変形
	初期健全性	材料品質，溶接品質等	
	容易性	製作や架設作業の容易性	

4.1.2　限界状態

構造物あるいは構造部材が，設計において意図された機能または条件に適さなくなる状態を限界状態というが，「土木・建築にかかる設計の基本（2002）」では，限界状態の定義として，終局と使用，さらには修復限界状態に区別している.

「鋼・合成構造標準示方書（2007）」では，限界状態とは，想定される作用に対して，構造物の全体あるいは一部が所要の要求性能を確保できず，その機能を果たさなくなると設計上定めた状態と定義し，安全限界，使用限界，修復限界，疲労限界の 4 つの限界状態を設定している．また，要求性能と限界状態の関連は**表-4.1.3** のように示されている.

安全限界状態：構造物あるいは部材が破壊したり，大変形，変位，振動等を起こし，構造物の安全性を失う状態．終局限界状態を安全限界状態と表記する.

使用限界状態：構造物または部材が過度の変形，変位，振動等を起こし，正常な使用ができなくなる状態.

修復限界状態：想定される作用により生ずることが予想される損傷に対して，適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば，構造物継続使用を可能とすることができる限界状態．なお，〔耐震設計編〕では，損傷限界という用語を用いる.

疲労限界状態：構造物または部材が作用の繰り返しにより疲労損傷し，機能を失う状態.

表-4.1.3　要求性能と限界状態の関連

要求性能	性能項目	限界状態
安全性	構造安全性	安全限界状態または終局限界状態
	公衆安全性	（本示方書では限界状態を定めていない）
使用性	走行性	使用限界状態
	歩行性	
修復性	地震後の修復性	（修復限界状態または損傷限界状態〔耐震設計編〕）
耐久性	耐疲労性	疲労限界状態
	耐腐食性	他の各限界状態に影響を及ぼす恐れのある状態
	材料劣化抵抗性	
	維持管理性	（本示方書では限界状態を定めていない）
社会・環境適合性	社会的適合性	（本示方書では限界状態を定めていない）
	経済的合理性	
	環境適合性	
施工性	施工時安全性	（本示方書では限界状態を定めていない）
	容易性	

4.1.3　照査方法

「鋼・合成構造標準示方書（2007）」では，信頼性設計の考え方を基礎とした部分係数法によるものとし，限界状態設計法によることを標準とする．限界状態としては，安全限界状態，使用限界状態を基本とし，耐久性に対しては，疲労・劣化に対する限界状態も考慮する．

照査方法としては，基本照査式（4.1.1）による．しかしながら，限界値R_d，応答値S_dは確率変数であり，破壊確率（性能関数$Z = R_d - S_d < 0$となる確率）を要求された値以下にするように鋼構造物の形式・形状・寸法を決定するのが最も望ましいが，これらの確率の算出は困難な場合が多いことから，現時点では部分係数を用いた照査式(4.1.2)を用いればよいとしている．

$$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1 \tag{4.1.1}$$

$$\gamma_i \frac{\sum \gamma_a \cdot S(\gamma_f \cdot F_k)}{R(f_k / \gamma_m) / \gamma_b} \leq 1 \tag{4.1.2}$$

ここに，

S_d：設計応答値，R_d：設計限界値，F_k：個々の作用の特性値，f_k：材料強度の特性値，$S(\cdots)$：作用から構造物の応答値を算出するための関数，$R(\cdots)$：材料強度から構造物の限界値を算出するための関数，γ_f：個々の作用に対する作用係数，γ_a：構造解析係数，γ_m：材料係数，γ_b：部材係数，γ_i：構造物係数

安全性，使用性および耐久性の照査に用いる各部分係数の標準的な数値を**表-4.1.4**に示す．構造物係数は**表-4.1.5**による．

表-4.1.4　各部分係数の標準的な値

要求性能（性能項目）	作用係数 γ_f	構造解析係数γ_a	材料係数 γ_m	部材係数 γ_b
安全性（構造安全性）	1.0～1.7	1.0～1.1	1.0～1.05	1.0～1.3
使用性（走行性、歩行性）	1.0	1.0	1.0～1.05	1.0
耐久性（耐疲労性）	1.0～1.1	1.0	1.0	1.0～1.1

表-4.1.5　標準的な構造物係数の値

要求性能（性能項目）	構造物係数 γ_i
安全性（構造安全性）	1.0～1.2
使用性（走行性、歩行性）	1.0
耐久性（耐疲労性）	1.0

限界状態設計法では，信頼度（構造物が与えられた条件で規定の期間中要求された機能を果たす確率）に関する概念は部分係数や荷重，強度の特性値の中に隠されており，照査フォーマットとして，信頼性理論のレベルＩにあたる部分係数法（Partial Factor Design）を採用している．

なお，限界状態設計法（Limit State Design：LSD）は，米国では荷重抵抗係数設計法（Load Resistance Factor Design：LRFD）と呼ばれる．両者は式の形式が多少異なるがその基本とする

ところは同じである．

信頼性理論のレベルⅡでは，性能関数の平均値と分散値（2 次モーメント）により信頼性指標 β を算定し，その値が許容信頼性指標 βa を満足するか否かによって安全性を照査する．例えば，設計変数のすべてが正規分布で表現される場合，破壊確率 pfa は，$pfa = 1 - \Phi(\beta a)$ となり，信頼性指標により破壊確率を間接的に求めることができる．この場合，荷重作用や抵抗値に関係する全ての設計変数に統計的なデータが必要となる．

$$\beta \geqq \beta a \tag{4.1.3}$$

信頼性理論のレベルⅢでは，設計対象における種々の設計変数の確率分布関数を用いて，直接破壊確率 pf を算定し，その値が許容破壊確率 pfa を満足するか否かによって安全性を照査する．この方法では，限界状態に対応する性能関数に含まれる設計変数のすべてに関して，確率分布が与えられていることが前提である．

$$pf \leqq pfa \tag{4.1.4}$$

4.1.4　作用と荷重

(1) 基本的な考え方

「作用」は直接作用（構造物に集中あるいは分布して作用する力学的な力の総称），間接作用（構造物に課せられる変形や構造物内の拘束の原因となるもの）および環境作用（構造物の材料を劣化させる原因となるもの）に分類される．作用は，荷重に変換してから構造物へ入力するものもあれば，変位を作用として考慮する場合もある．「荷重」は構造物に働く作用を必要に応じて，構造物の応答特性を評価するモデルを介して，断面力や応力，変位等の算定という設計を意図した静的計算の入力に用いられるために構造物に直接載荷される力学的力の集合体に変換したものである．

荷重の変動性は，「永久荷重」，「変動荷重」，「偶発荷重」に分類される．永久荷重とは，変動がほとんどないか，変動が持続的成分に比べて無視できるほど小さい荷重である．変動荷重は，荷重が頻繁にあるいは連続的に起こり，かつ変動が持続成分に比べて無視できないほどの荷重である．偶発荷重は耐用期間中にほとんど作用しないが，作用すれば重大な影響を及ぼす荷重である．

(2) 荷重作用の種類

構造設計に用いる荷重作用の主なものとして以下のものが挙げられる．

a）死荷重
b）活荷重
c）風作用
d）地震作用
e）波浪等の作用
f）地盤作用
g）衝撃作用

道路橋示方書では，永久荷重としては，死荷重の他，プレストレス力や常時の土圧や水圧などが該当する．変動荷重としては，活荷重および衝撃や，温度変化の影響がこれにあたる．偶発荷重は地震の影響がその代表といえる．風荷重も終局限界状態の照査にあたっては偶発荷重と見なされる．また，道路橋示方書に見られる 50℃から-30℃（寒冷地）といった数値は，偶発荷重としての側面に留意したものと理解することができる．

道路橋の活荷重や，一般の構造物の風荷重，地震の影響などは，終局限界状態の照査には，十分大きい値が採用される．十分に大きいという意味は，供用期間中の最大値の確率分布を考慮し

て超過確率が工学的に問題を生じないほどに小さくするということである．

風や地震などの自然現象で稀な独立事象に対してポアソン仮定が成り立つ場合，再現期間Tのレベルに設定された設計荷重値を超過する荷重値が期間tの間に１回以上発生する確率は，以下のように表される．

$$p = 1 - (1 - 1/T)^t \cong 1 - \exp\left[-(t/T)\right] \tag{4.1.5}$$

ここに，p：超過確率，T：再現期間，t：期間（設計供用期間）

例えば，再現期間 100 年の地震が 100 年に 1 回以上起こる確率は$p = 1 - e^{-1} = 63.2\%$である．

土木構造物の供用期間は長いので，この超過確率を小さくするためには，このTを大きくとることが必要になる．

(3) 荷重作用の組合せ

本来「作用の組合せ」であるが，設計実務上は荷重あるいは荷重効果のレベルで用いられるので「荷重の組合せ」とする．荷重の組合せは，本質的には限界状態と荷重の発生頻度との関係で決まる．永久荷重は，どのような限界状態でも，対応する荷重効果の中に含めて考慮される．変動荷重および偶発荷重は，その変動性も考慮に入れて取捨選択され組み合わせられる．

4.1.5　材料の設計用値

(1) 鋼材

構造用鋼材は，JIS 規格に適合するものを標準とする．しかし，これ以外の鋼材であっても国際規格を満足し，適切な鋼材であれば使用することができる．限界状態設計に用いる鋼材の材料強度の規格値は，JIS の下限値（保証降伏点）をとる．

(2) コンクリート

コンクリート標準示方書の規定に準拠する．

4.1.6　構造設計方法

(1) 構造解析方法

性能照査に際しては，構造物の応答値（断面力，応力，変位，ひずみなど）を限界値（部材強度，変位など）と比較することで，要求性能が照査される．応答値を算出する手段として構造解析を用いる場合は，線形解析（弾性微小変位解析法）で十分なことも多い．一方，構造解析で耐荷力を求め，作用（外力）と比較して，安全性を照査する方法もある．この場合，構造解析で求める耐荷力は限界値であり，非線形解析（材料非線形(弾性・弾塑性)，幾何学的非線形(有限変位)で，弾性有限変位解析法，弾塑性有限変位解析法などに分類される），座屈固有値解析が要求される．

したがって，どのような性能照査を行なうかで，適切な解析方法は異なってくる．

構造解析においては，構造物の形状，支持条件，荷重条件，照査する限界状態などに応じて適切な境界条件および構造モデルを設定する必要がある．構造モデルは，はり，柱，格子，シェル，トラス，ケーブル，ラーメンおよびアーチなどにより，あるいは，これらの組合せにより，構造物を適切に簡略化して行うものとする．

(2) 部材・断面強度（座屈強度，疲労強度等を含む）

線形解析（弾性微小変位解析法）では，材料の非弾性効果と広い意味で座屈と呼ばれる有限変位による不安定現象の効果を荷重によって生じる応答値（断面力，応力）の算定に反映できない．種々の初期不整や非線形応答が構造物の部材・断面強度に及ぼす影響は本質的には，構造解析で考慮すべき問題である．しかし，設計者が座屈解析や非線形解析をしなくても，種々の不整や非

線形の効果を部材固有の強度を低減する形で耐力側に入れて評価し安全性の確保を図ることが可能である．「鋼構造物設計指針（1997）」[3)]では，線形解析（弾性微小変位解析法）により応答値を算出することを前提とし，構造物を構成する部材の断面形状，寸法のほか荷重の作用状態に応じて，鋼部材の耐力が示されている．

「鋼・合成構造標準示方書(2007)」においても，この考え方に基づき，鋼部材の a) 軸方向引張耐力，b) 軸方向圧縮耐力，c) 曲げ耐力，d) ウェブのせん断耐力，e) 局部座屈強度（応力度表示）の耐力式，鋼管の耐力式，ケーブルの耐力式が示されている．

4.1.7　構造物，部材の照査方法

「鋼・合成構造標準示方書(2007)」では，以下の要求性能に対して，構造物や部材の照査方法を規定している．詳細は示方書を参照のこと．

(1) 安全性に対する要求性能および照査

a) 構造安全性においては，耐荷性能と安定性能を考慮する．耐荷性能を失う破壊現象には，部材の破断，板の局部座屈，部材の座屈，構造物全体系の座屈などがある．安定性を喪失する状態とは，座屈に伴う剛性の急激な喪失，構造物全体もしくは一部の転倒，滑動,浮き上がり等がある．構造物は部材の一部が耐荷力を失っても，構造物全体が耐荷力を失って破壊しないように構成されなければならない．そのためには，適切な解析法により，構造物の変形をシミュレーションして設計するのが理想である．しかしながら，実務設計においてそうした手法を採用するのは現状では容易でないため，構造物を構成する各部材および部材接合部に対して,微小変位弾性解析(線形解析)で評価した応答値と耐荷力との比較を基本とし，以下のように照査方法を提示している．なお，レベル 2 地震動に対しては，実務設計においても構造物全体の安定性が求められるが，性能項目の照査については〔耐震設計編〕によっている．

1) 骨組部材の耐荷性能に対する照査

ⅰ)軸方向力を受ける場合，ⅱ)曲げモーメントを受ける場合，ⅲ）軸方向力と曲げモーメントを受ける場合，ⅳ）せん断力あるいはねじりモーメントを受ける場合，ⅴ）軸方向力，曲げモーメントおよびせん断力が同時に作用する場合，ⅵ）２軸応力が無視できない場合

2) 板部材の耐荷性能に対する照査

ⅰ)面内力を受ける場合，ⅱ)面外力を受ける場合，ⅲ)面内力と面外力を受ける場合

3) 連結部の安全性に対する照査

ⅰ）溶接継手，ⅱ）高力ボルト継手，ⅲ）普通ボルト継手，ⅳ）ピンによる連結

b) 非線形解析により，構造物全体の限界挙動を評価し構造安全性を照査してもよい．非線形構造解析による照査ではⅰ)初期不整や残留応力の設定方法や要素種類,分割などの解析モデルの設定に対する配慮，ⅱ)施工で規定される初期健全性との整合，ⅲ)限界状態の設定，ⅳ）用いる方法に応じた適切な部分係数の設定，がなされる必要がある．さらに，限界状態の設定に関しては，次の２つの安全限界状態を区別しておく必要がある．１つは最初の座屈（構造全体系の座屈，構成部材の座屈あるいは材片の局部座屈）を安全限界とする照査であり，座屈後の変形増加を許容しない設計である．２つめは骨組構造物の全体系の耐荷力あるいは変形性能を安全限界とする照査である．これは全体構造系が不静定で，最初の座屈後の強度が期待できる場合か，座屈が生じなく降伏による剛性変化で力の再配分を期待する場合に，全体系の耐荷力あるいは変形性能を保証する設計である．

c) 実験により，所定の作用に対する発生断面力，応力度，変位などの作用効果あるいは耐荷力

を求め，これにより構造安全性を照査してもよい．

(2) 使用性に対する要求性能および照査

使用限界状態の照査は，構造物または部材の変位・変形・振動・騒音等が，構造物の機能，使用性，および，耐久性を損なわないことを，適宜適切な形で照査する．道路橋，鉄道橋を対象として以下の項目について照査法を示している．

a) 走行性に対する照査

b) 列車走行性に対する照査

c) 歩行性に対する照査

(3) 耐久性に対する要求性能および照査

a) 耐疲労性

繰返し荷重による鋼構造物の疲労の照査は，以下に示す方法による．

1) 鋼部材において，疲労強度等級が低い継手，あるいは，品質管理が困難な継手が採用されていないことを確認する．

2) 鋼部材においては,設計供用期間中に想定される作用の繰返しによる最大応力範囲が疲労限（打切り限界）以下であることを確認する．

3) 設計供用期間中に想定される作用の繰返しによる最大応力範囲が疲労限（打ち切り限界）を超える場合，設計供用期間中に想定される疲労損傷度が限界値を超えないことを確認する．

b) 耐腐食性

c) 材料劣化抵抗性

d) 維持管理性

(4) 社会・環境適合性に対する要求性能および照査

社会的適合性，経済的合理性，環境適合性に対して，適切な方法により照査する．

参考文献

1) 国土交通省：土木･建築にかかる設計の基本，2002.

2) 土木学会 鋼構造委員会 鋼・合成構造標準示方書小委員会：鋼・合成構造標準示方書 2007 年制定総則編・構造計画編・設計編，2007.

3) 土木学会 鋼構造委員会 鋼構造物設計指針小委員会：鋼構造物設計指針 PART A 一般構造物〔平成 9 年版〕，1997.

（長山　秀昭，岡本　隆）

4.2　港湾構造物分野の設計法の現状

4.2.1　一覧表および共通事項

港湾施設構造物分野として港湾施設の構造様式には多数あるが，以下の鋼構造物を対象とした．

①矢板式係船岸

②桟橋式岸壁

表-4.2.1に港湾の施設の技術上の基準・同解説の設計の考え方をとりまとめて示した．

表-4.2.1　一覧表

設計基準類		港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年改訂版） 一般事項
設計の基本	a）設計対象・範囲	港湾法第56条および港湾法施行令第19条で規定される港湾の施設
	b）設計供用期間	一般的に50年を考える．特に重要な施設は100年。
	c）要求性能	要求性能は、作用に対して当該施設が発揮すべき「基本的要求性能」とそれ以外の性能である「その他の要求性能」に分類される。
		「使用性」、「修復性」及び「安全性」は、作用に対する施設の構造的な応答（変形、断面力等）に関する性能として定められる。
		安全性：人命の安全等を確保できる性能をいい、想定される作用に対する施設の構造的な応答としては、ある程度の損傷が発生するものの、施設として致命的とならない程度の損傷に留まること。
		使用性：使用上の不都合を生じずに使用できる性能をいい、想定される作用に対する施設の構造的な応答としては、わずかな修復の範囲内で速やかに所期の機能が発揮できる程度の損傷に留まること。
		修復性：技術的に可能で経済的に妥当な範囲の修繕で継続的に使用できる性能をいい、想定される作用に対する施設の構造的な応答としては、軽微な修復の範囲内で、短期間のうちに所期の機能が発揮できる程度の損傷に留まること。
		「その他の要求性能」とは「供用性」、「維持管理性」、「環境性」に分類される。
		供用性：施設の供用及び利便性の観点から施設が保有すべき性能をいい、具体的には、施設の構造的な諸元（施設の長さ、施設の幅、施設の水深、施設の天端高、施設の築造限界等）、附帯設備及び静穏度等にとして求められる。
		施工性：技術的に可能でかつ妥当な工期で工事の安全を確保しながら施工できる性能をいい、全ての施設に求められる。
		環境性：自然環境に関して求められる性能をいい、原則として全ての施設に求められる。
		維持管理性：施設の利用や想定した作用による施設の劣化損傷に対して、技術的に可能でかつ経済的に妥当な範囲で補修・補強等を施すことにより、施設の所要の性能を確保することができる性能をいい、全ての施設に求められる。
		緊急物資輸送対応の特定耐震強化施設はＬ２に対して使用性（30～100㎝、傾斜角3%以内）、幹線貨物輸送対応の特定耐震強化施設はＬ２に対して修復性（荷役機械の限界値による）、標準施設はＬ２に対して安全性が要求される。
限界状態	a）終局限界状態	構造物全体に規定する性能を部材レベルの性能規定として限界状態に置き換えて設定することも認められる。一般には、安全性→終局限界状態あるいは疲労限界状態、使用性→使用限界状態、修復性→修復限界状態あるいは使用限界状態に置き換えられるが、安全性→使用限界状態に置き換えることもある。 ＲＣ、ＰＣ部材の検討においては、限界状態を考慮する。
	b）使用限界状態	
	c）疲労限界状態	
	d）修復限界状態	

<table>
<tr><td colspan="3">設計基準類</td><td>港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年改訂版）
一般事項</td></tr>
<tr><td rowspan="4">照査方法</td><td rowspan="4">照査項目
（限界状態）</td><td>終局状態の照査</td><td>港湾の施設が性能規定に適合していれば，当該施設は、要求性能を満足しているものとみなすことができる．しかし，港湾の施設が要求性能を満足していることは，当該施設が性能規定に適合していることのみによらず，性能規定以外の適切な規準等に適合していることによって示すことも可能である．</td></tr>
<tr><td>使用限界状態の照査</td><td>要求性能のうちそれを満足していることが照査不可能なものについては，それに応じた性能規定を定めていない．したがって、必ずしも全ての要求性能に応じて性能規定を定めていない．</td></tr>
<tr><td>疲労限界状態の照査</td><td></td></tr>
<tr><td>修復限界状態の照査</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="10">作用と荷重</td><td colspan="2">基本的考え方</td><td>永続状態及び変動状態に対しては，使用性について定める．
偶発状態に対しては，施設の発揮すべき機能及び重要度等に応じて使用性、修復性又は安全性について定めることができる．</td></tr>
<tr><td rowspan="8">荷重作用の種類</td><td>ａ）死荷重</td><td>永続作用：自重，土圧、水圧，環境作用（腐食等の施設を構成する材料の劣化を引き起こし，そのため施設の性能を損なう恐れのある力学的，物理的，化学的又は生物学的な作用）等，設計供用期間中に常に働くことが想定される作用．</td></tr>
<tr><td>ｂ）活荷重</td><td>変動作用：風，波浪，水流，船舶による作用，レベル１地震動（設計供用期間中に生じる可能性の高い地震動），載荷重等，設計供用期間中に働く可能性が高い作用．</td></tr>
<tr><td>ｃ）風作用</td><td>変動作用に含まれる．</td></tr>
<tr><td>ｄ）地震作用</td><td>レベルに応じて変動作用または偶発作用に分類される．　レベル１地震動：変動作用　　レベル２地震動：偶発作用</td></tr>
<tr><td>e)波浪等の作用</td><td>変動作用に含まれる．</td></tr>
<tr><td>f)地盤作用</td><td>永続作用</td></tr>
<tr><td>g)衝撃作用</td><td>偶発作用に含まれる．</td></tr>
<tr><td>h)偶発作用</td><td>偶発作用：船舶の接岸以外の衝突，津波、レベル２地震動（当該施設が設置される地点で生じうる地震動のうち，想定される最大の強さを持つ地震動）等，設計供用期間中に働く可能性が低い作用．</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料の設計用値</td><td colspan="2">ａ）鋼材</td><td>特性値に材料係数を考慮した値を設計値として用いる．特性値はJIS等の規格値としてよい．</td></tr>
<tr><td colspan="2">ｂ）コンクリート</td><td>コンクリート標準示方書の規定を準用する．</td></tr>
<tr><td rowspan="2">構造設計方法</td><td colspan="2">構造解析方法</td><td>適用範囲と精度が検証されている手法を用いる．</td></tr>
<tr><td colspan="2">部材・断面強度（座屈強度、疲労強度等を含む）</td><td>公共の安全上または公益上重要な施設で標準手法によらない場合は，国または第三者機関による基準適合性の判断が必要．</td></tr>
<tr><td rowspan="4">構造物，部材の照査方法</td><td colspan="2">終局限界状態の照査</td><td>永続状態および変動状態に対しては，部分係数法などの信頼性設計法
L1地震動に対しては，地盤－構造物の動的相互作用を考慮した非線形地震応答解析
偶発状態に対しては，変形量や損傷程度を具体的に評価できる数値解析法</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用限界状態の照査</td><td rowspan="3">矢板式係船岸
・自重に関する永続状態に対する地盤のすべり破壊→部分係数法
・土圧に関する永続状態に対する矢板およびタイ材の応力→部分係数法
・土圧に関する永続状態に対する腹起しの応力→形式的な部分係数法
・Ｌ１地震に関する変動状態に対する矢板，タイ材，腹起しの応力→形式的な部分係数法
・船舶の作用に関する変動状態に対するタイ材および腹起しの応力</td></tr>
<tr><td colspan="2">疲労限界状態の照査</td></tr>
<tr><td colspan="2">修復限界状態の照査</td></tr>
<tr><td>その他</td><td colspan="2"></td><td>当該施設の設計の段階において維持管理上の重要度を定め，その維持管理レベルを反映した性能照査を行う．</td></tr>
</table>

4.2.2　矢板式係船岸

(1)　概要

矢板式係船岸（構造例を**図-4.2.1**に示す）を例として，係船岸の概要について以下に記述する．

(2)　要求性能及び性能規定

矢板式係船岸の要求性能及び性能規定を**表-4.2.2**，性能照査フローの例を**図-4.2.2**に示す．

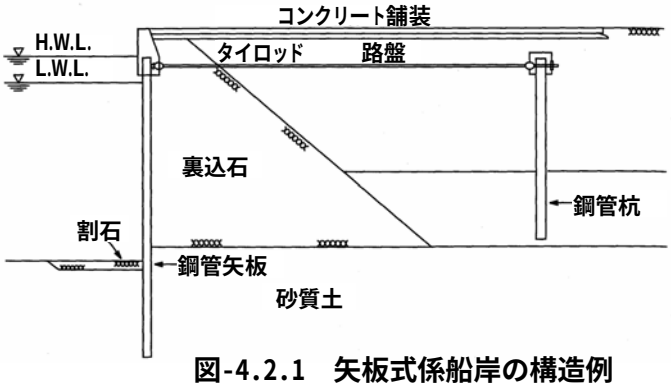


図-4.2.1　矢板式係船岸の構造例

すべての係船岸は，載荷重，レベル１地震動，船舶の作用などに関する変動状態に対して「使用性」を，耐震強化施設の係船岸（特定（緊急物資輸送対応），特定（幹線物資輸送対応），標準（緊急物資輸送対応））については，レベル２地震動に関する偶発状態に対してそれぞれ「使用性」，「修復性」を満たさなければならない．

性能設計への移行に伴い，レベル２地震動に関する偶発状態以外では矢板の降伏応力度に基づいて部分係数法（信頼性設計法）により照査を行う．耐震強化施設の係船岸では，レベル２地震動以外の作用で設定した断面に対してレベル２地震動に関する偶発状態での照査を動的解析により行い，係船岸の損傷程度を考慮した照査を行う．

永続状態，レベル１地震動に関する変動状態における鋼矢板部材の照査式を以下に示す．

$$\sigma_{yd} = \gamma_{\sigma y}\sigma_{yk} \geq \gamma_a \frac{M_{\max d}}{Z} \tag{4.2.1}$$

ここに，

σ_{yd} ：鋼材の曲げ降伏応力度の設計用値

σ_{yk} ：鋼材の曲げ降伏応力度の特性値

$\gamma_{\sigma y}$：部分係数

γ_a ：構造解析係数

$M_{\max d}$ ：矢板壁に生じる最大曲げモーメントの設計用値

Z　：鋼材の断面係数

(3)　考慮すべき作用

係船岸において一般的に，設計上考慮する作用を**表-4.2.3**に示す．

部分係数法（信頼性設計法）では，作用の特性値に部分係数を乗じて設計用値を算定する．

表-4.2.3　係船岸における作用

係船岸における作用
土圧，水圧 載荷重，船舶の牽引力 防衝工反力，波力，地震力

表-4.2.2a　矢板式係船岸の要求性能と性能規定（永続状態、変動状態）

施設		一般施設及び耐震強化施設		
設計状態		永続状態	変動状態	
要求性能※		使用性	使用性	
荷重	主たる作用	土圧	レベル1地震動	船舶の牽引
	従たる作用	水圧及び戴荷重	土圧，水圧及び戴荷重	土圧，水圧及び戴荷重
部材＼変形量		－	15cm（標準的許容値）	－
矢板		構造の安定に必要な根入れ長を有すること 生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	構造の安定に必要な根入れ長を有すること 生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	－
タイ材		生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること
腹起し		生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること
控え工	共　通	構造形式に応じて適切な位置に設置し，構造の安定性が損なわれる危険性が限界値以下であること	構造形式に応じて適切な位置に設置し，構造の安定性が損なわれる危険性が限界値以下であること	構造形式に応じて適切な位置に設置し，構造の安定性が損なわれる危険性が限界値以下であること
	控え矢板	(イ) 構造の安定に必要な根入れを有すること (ロ) 部材に生じる設計応力度が設計降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	(イ) 構造の安定に必要な根入れを有すること (ロ) 部材に生じる設計応力度が設計降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	－
	控え直杭	(イ) 同上 (ロ) 同上	(イ) 同上 (ロ) 同上	－
	控え組杭	(イ) 同上 (ロ) 同上 (ハ) 作用する軸方向力が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること	(イ) 同上 (ロ) 作用する軸方向力が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること	－
	控え版	(イ) タイ材張力と控え版背後の主働土圧の和が控え版前面の受働土圧を超える危険性が限界値以下であること (ロ) 生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること	(イ) タイ材張力と控え版背後の主働土圧の和が控え版前面の受働土圧を超える危険性が限界値以下であること (ロ) 生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること	－
上部工		生じる設計曲げ圧縮応力度が曲げ圧縮応力度の制限値を超える危険性が限界値以下であること	生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること	生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること（主たる作用が船舶の接岸の時を含む）
		生じる曲げひび割れ幅がひび割れ幅の限界値以下であること	－	－
その他		矢板下端以下を通る地盤のすべり破壊が生じる危険性が限界値以下であること（主たる作用が自重の時）	－	－
目標システム破壊確率※※		耐震強化施設以外の施設 4.0×10^{-3} 耐震強化施設 1.7×10^{-4}	－	－

※ 要求性能として供用性（船舶の安全かつ円滑な利用，人の安全な乗降及び貨物の安全かつ円滑な荷役が行えること）もある．

※※ 土圧及び自重に関する永続状態における矢板，タイ材の応力及び基礎地盤のすべり破壊については，力の釣り合いに基づくシステム破壊確率を指標として照査できる．

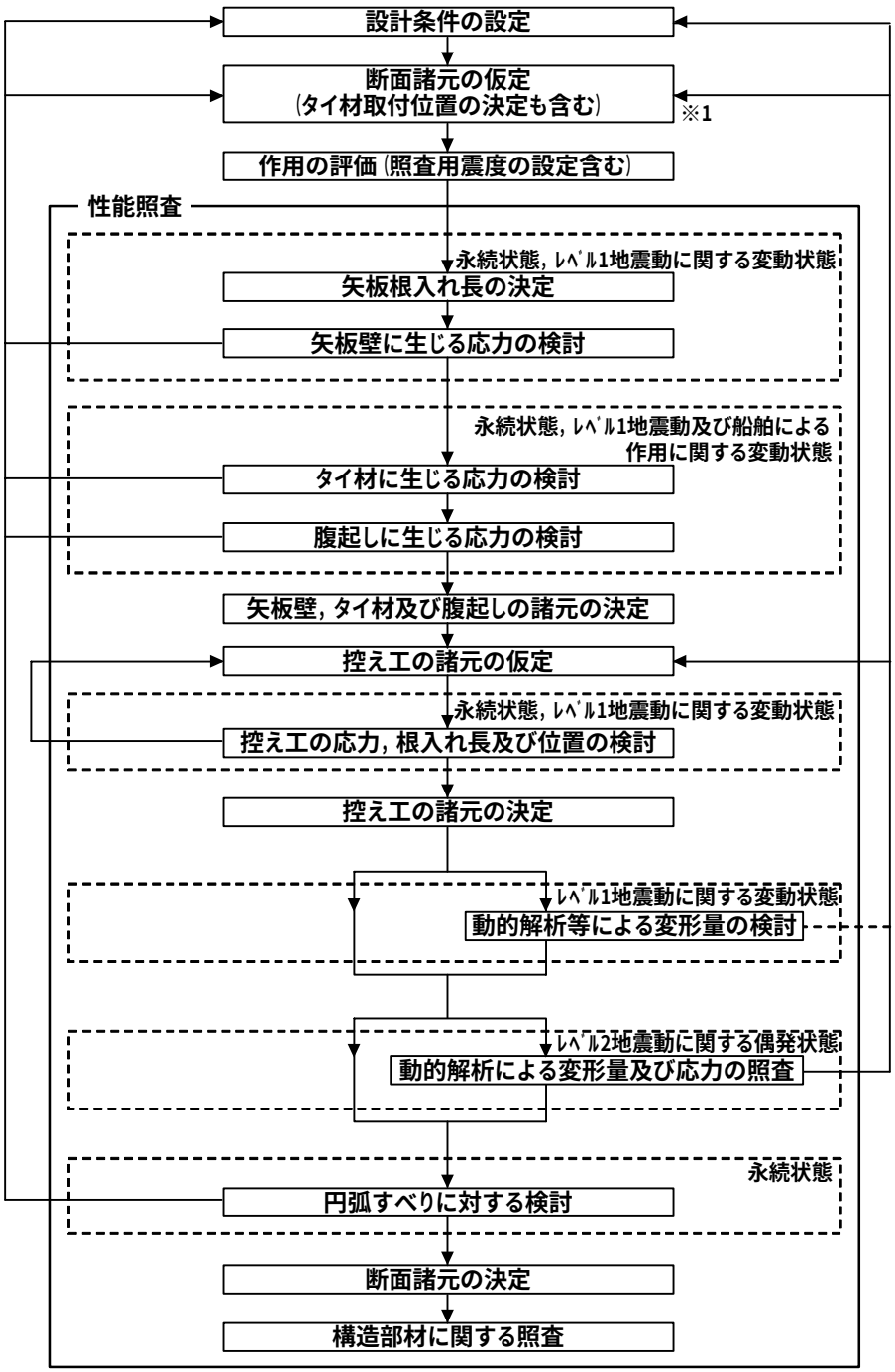
表-4.2.2b　矢板式係船岸の要求性能と性能規定（偶発状態）

施設		耐震強化施設		
		特定（緊急物資輸送対応）	特定（幹線物資輸送対応）	標準（緊急物資輸送対応）
設計状態		偶発状態		
要求性能※		使用性※※※	修復性	修復性
荷重	主たる作用	レベル2地震動		
	従たる作用	自重，土圧，水圧及び戴荷重		
部材＼変形量		残留変形量の限界値　30～100cm程度 残留傾斜角　3度程度（標準値）	残留変形量を適切に設定する	残留水平変形量　100cm程度以上の適切な値
矢板		生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと
タイ材		生じる応力度が設計破断強度を超える危険性が限界値以下であること	生じる応力度が設計破断強度を超える危険性が限界値以下であること	生じる応力度が設計破断強度を超える危険性が限界値以下であること
腹起し		－	－	－
控え工	共　通	－	－	－
	控え矢板	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと
	控え直杭	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと
	控え組杭	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと． 作用する軸方向力が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること．	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと． 作用する軸方向力が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること．	部材に生じる曲げモーメントが全塑性モーメントに達しないこと． 作用する軸方向力が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること．
	控え版	－	－	－
上部工		生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること	生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること	生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること
		－	－	－
その他		－	－	－
目標システム破壊確率※※		－	－	－

※　要求性能として供用性（船舶の安全かつ円滑な利用，人の安全な乗降及び貨物の安全かつ円滑な荷役が行えること）もある．

※※　土圧及び自重に関する永続状態における矢板，タイ材の応力及び基礎地盤のすべり破壊については，力の釣り合いに基づくシステム破壊確率を指標として照査できる．

※※※　この要求性能は，地震後に必要な機能（緊急物資輸送）に対するものであり，施設の本来の機能に対するものとは異なる．



注) 液状化及び沈下の影響の評価については表示していないため，別途考慮する必要がある．

図-4.2.2　矢板式係船岸の性能照査順序の例

(4)　耐震設計

a)　レベル１地震動に対する照査

レベル１地震動に対する照査フローの例を**図-4.2.3**に示す.

レベル１地震動については, 係船岸設置位置における工学的基盤の75年再現期間の時刻歴波形を用いる. この工学的基盤の加速度に対して１次元の地震応答解析を行い, 地震動および地盤の周波数特性を考慮したフィルターによる処理と継続時間に関する補正を行って, 背後地盤の地表面における最大加速度補正値を求め, これと許容される係船岸天端の変形量（標準値15cm）を用いて照査用震度の特性値を設定する. 部材に発生する応力は部分係数法により照査を行い, 応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であることを確認する.

b)　レベル２地震動に対する照査

レベル２地震動に対する照査フローの例を**図-4.2.4**に示す.

レベル２地震動は当該地点で生じうると推定される最大級の強さを持つ地震動であり, 震源特性, 伝播経路特性, サイト増幅特性を考慮した強震波形計算により設定することができる. 性能照査方法としては, 地盤－構造物の動的相互作用を考慮した非線形地震応答解析を適用する方法等がある. 動的解析による照査では部材の損傷状態が限界となる損傷状態に達していないことを確認する. 変形量については, 施設に要求される機能を満足できる限界値を設定し変形性能を照査する.

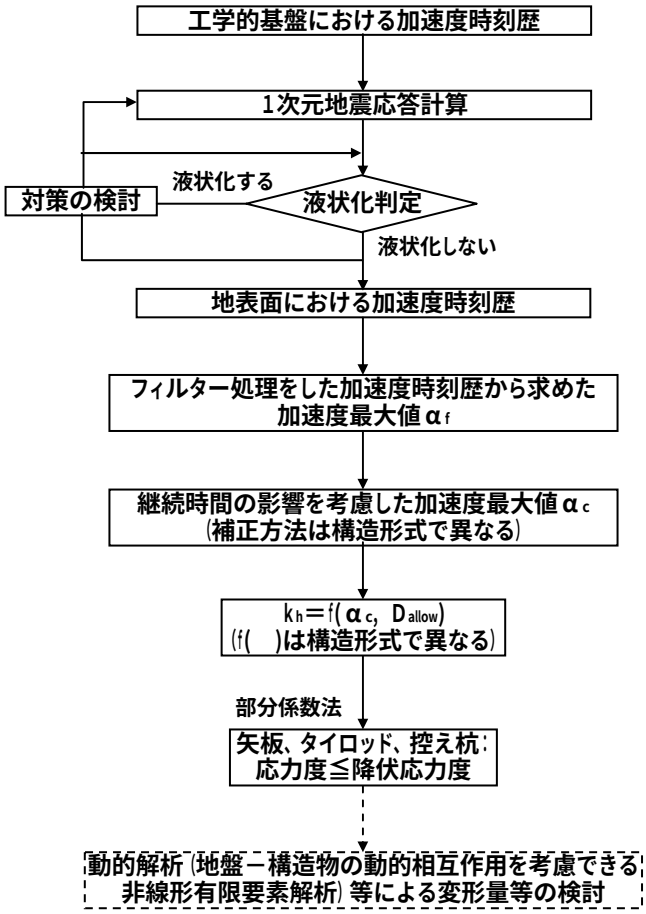


図-4.2.3　レベル１地震動に対する性能照査順序の例

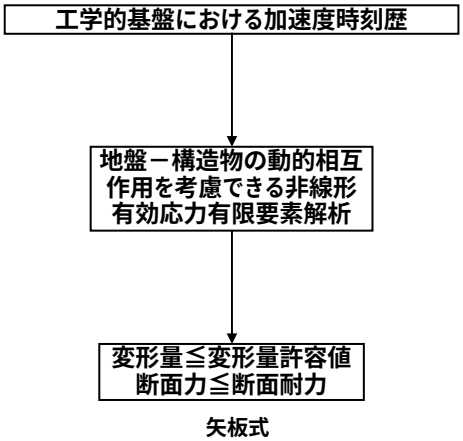


図-4.2.4　レベル２地震動に対する性能照査順序の例

(5) 部分係数

矢板式係船岸に関する矢板壁の根入れ長，応力，タイ材の応力，円弧すべり，控え杭に発生する応力，杭の支持力に関する部分係数を**表-4.2.4**に示す.

表-4.2.4a　標準的な部分係数

(a)永続状態（その 1）

				耐震強化施設				耐震強化施設以外			
目標システム信頼性指標β_T				3.6				2.7			
目標システム破壊確率 P_{fT}				1.7×10^{-4}				4.0×10^{-3}			
				γ	α	μ/X_k	V	γ	α	μ/X_k	V
矢板壁の根入れ長	砂質土系地盤	$\gamma_{\tan\phi'}$	せん断抵抗角の正接	0.65	1.000	1.00	0.100	0.75	1.000	1.000	0.100
		$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.000	0.100
		$\gamma_{w'}$	有効単位体積重量	1.00	0.000	1.00	0.050	1.00	0.000	1.000	0.050
		γ_δ	壁面摩擦角	0.90	0.300	1.00	0.100	0.90	0.300	1.000	0.100
		γ_q	上載荷重	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
		γ_{RWL}	残留水位	1.00	0.000	1.00	0.050	1.00	0.000	1.000	0.050
		γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
	粘性土系地盤	$\gamma_{\tan\phi'}$	せん断抵抗角の正接	0.70	0.820	1.00	0.100	0.80	0.820	1.000	0.100
		$\gamma_{c'}$	粘着力	0.75	0.700	1.00	0.100	0.80	0.700	1.000	0.100
		$\gamma_{w'}$	有効単位体積重量	1.05	-0.190	1.00	0.050	1.05	-0.190	1.000	0.050
		γ_δ	壁面摩擦角	0.95	0.120	1.00	0.100	0.95	0.120	1.000	0.100
		γ_q	上載荷重	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
		γ_{RWL}	残留水位	1.00	0.000	1.00	0.050	1.00	0.000	1.000	0.050
		γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
矢板壁の応力	砂質土系地盤	$\gamma_{\tan\phi'}$	せん断抵抗角の正接	0.75	0.760	1.00	0.100	0.85	0.760	1.000	0.100
		$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.000	0.100
		$\gamma_{w'}$	有効単位体積重量	1.05	-0.320	1.00	0.050	1.05	-0.320	1.000	0.050
		γ_δ	壁面摩擦角	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.000	0.100
		γ_q	上載荷重	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
		γ_{RWL}	残留水位	1.00	0.000	1.00	0.050	1.00	0.000	1.000	0.050
		γ_{σ_y}	SY295, SY390, KY490	1.00	0.720	1.20	0.065	1.00	0.720	1.200	0.065
		γ_{σ_y}	SKY 400	1.00	0.720	1.26	0.073	1.00	0.720	1.260	0.073
		γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
	粘性土系地盤	$\gamma_{\tan\phi'}$	せん断抵抗角の正接	0.80	0.500	1.00	0.100	0.85	0.500	1.00	0.100
		$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.00	0.100
		$\gamma_{w'}$	有効単位体積重量	1.05	-0.250	1.00	0.050	1.05	-0.250	1.00	0.050
		γ_δ	壁面摩擦角	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.00	0.100
		γ_q	上載荷重	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
		γ_{RWL}	残留水位	1.00	0.000	1.00	0.050	1.00	0.000	1.00	0.050
		γ_{σ_y}	SY295, SY390, KY490	0.90	1.000	1.20	0.065	1.00	1.000	1.20	0.065
		γ_{σ_y}	SKY400	0.95	1.000	1.26	0.073	1.00	1.000	1.26	0.073
		γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
タイ材の応力	砂質土系地盤	γ_{σ_y}	HT690	0.60	0.750	1.13	0.070	0.65	0.750	1.13	0.070
		γ_{σ_y}	SS400	0.65	0.750	1.26	0.073	0.70	0.750	1.26	0.073
		γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
	粘性土系地盤	γ_{σ_y}	HT690	0.55	0.940	1.13	0.070	0.60	0.940	1.13	0.070
		γ_{σ_y}	SS400	0.65	0.940	1.26	0.073	0.70	0.940	1.26	0.073
		γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—

表-4.2.4b　標準的な部分係数

(a)永続状態（その 2）

			耐震強化施設				耐震強化施設以外			
			γ	α	μ/X_k	V	γ	α	μ/X_k	V
円弧すべり	$\gamma_{c'}$	地盤強度：粘着力	0.90	0.309	1.00	0.040	0.90	0.329	1.00	0.040
	$\gamma_{\tan\phi'}$	地盤強度：せん断抵抗角の正接	0.90	0.398	1.00	0.040	0.90	0.396	1.00	0.040
	γ_{w_1}	海底面以上の地盤等の単位体積重量	1.10	-0.259	1.00	0.030	1.10	-0.271	1.00	0.030
	γ_{w_2}	海底面以下の砂質土層の単位体積重量	0.90	0.314	1.00	0.030	0.90	0.312	1.00	0.030
	γ_{w_3}	海底面以下の粘性土層の単位体積重量	1.00	0.000	1.00	0.030	1.00	0.000	1.00	0.030
	γ_q	上載荷重	1.70	-0.467	1.00	0.400	1.60	-0.487	1.00	0.400
	γ_{RWL}	残留水位	1.10	-0.040	1.00	0.050	1.10	-0.040	1.00	0.050

※1：α：感度係数、μ/X_k：平均値の偏り（平均値/特性値），V：変動係数である．

※2：対象とする地盤の土層構成より，砂質土層と粘性土層のどちらが支配的であるかを判断して，砂質土系地盤，粘性土系地盤の部分係数を使い分ける必要がある．例えば，砂質土層が支配的と判断される場合（砂質土系地盤）に，粘性土の薄層が存在するときは，砂質土系地盤の粘着力に関する部分係数を用いて照査を行う．

※3：σ_yは鋼材降伏強度を示し，使用する鋼種に応じて部分係数を選定する．

※4：タイ材の張力の設計用値は，矢板の応力照査で得られるタイ材取付点反力の設計用値より算出する．

※5：土圧等を算出する際のせん断抵抗角ϕ'は，$\phi'=\arctan(\gamma_{\tan\phi'}\cdot\tan\phi'_k)$による．

表-4.2.4c　標準的な部分係数

(b)レベル1地震動等に関する変動状態

				すべての施設			
要求性能				使用性			
				γ	α	μ/X_k	V
矢板壁の根入れ長	砂質土系地盤	$\gamma_{\tan\phi'}$	せん断抵抗角の正接	1.00	—	—	—
		$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	—	—	—
		$\gamma_{w'}$	単位体積重量	1.00	—	—	—
		γ_δ	壁面摩擦角	1.00	—	—	—
		γ_q	上載荷重	1.00	—	—	—
		γ_{RWL}	残留水位	1.00	—	—	—
		γ_{k_h}	照査用震度	1.00	—	—	—
		γ_a	構造解析係数	1.20	—	—	—
矢板壁等の応力	砂質土系地盤	$\gamma_{\tan\phi'}$	せん断抵抗角の正接	1.00	—	—	—
		$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	—	—	—
		$\gamma_{w'}$	単位体積重量	1.00	—	—	—
		γ_δ	壁面摩擦角	1.00	—	—	—
		γ_q	上載荷重	1.00	—	—	—
		γ_p	牽引力（船舶牽引時）	1.00	—	—	—
		γ_{RWL}	残留水位	1.00	—	—	—
		γ_{k_h}	照査用震度	1.00	—	—	—
		γ_{σ_y}	鋼材降伏応力度	1.00	—	—	—
		γ_a	構造解析係数	1.12	—	—	—
タイ材の応力		γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	—	—	—
		γ_a	構造解析係数	1.67	—	—	—

※1：　タイ材張力の設計用値は矢板の応力照査で得られるタイ材取付点反力の設計用値より算出する．

表-4.2.4d　標準的な部分係数

(a)永続状態

要求性能					すべての施設 使用性			
					γ	α	μ/X_k	V
控え直杭	応力	γ_{k_s}，γ_{k_c}	横抵抗定数		1.00	－	－	－
		γ_{σ_y}	鋼材降伏強度		1.00	－	－	－
		γ_a	構造解析係数		1.35	－	－	－
控え組杭	応力	γ_w	上部工の重量		1.00	－	－	－
		γ_{w_s}	上部工上の土の重量		1.00	－	－	－
		γ_q	載荷重		1.00	－	－	－
		$\gamma_{k_{ch}}$	横方向地盤反力係数		1.00	－	－	－
		γ_{σ_y}	鋼材降伏強度		1.00	－	－	－
		γ_a	構造解析係数		1.45	－	－	－
	軸方向抵抗力	$\gamma_{c'}$	粘着力		1.00	－	－	－
		γ_N	N 値		1.00	－	－	－
		γ_{Ru}	抵抗力	引抜杭	0.40	－	－	－
				押込杭	0.45	－	－	－
		γ_a	構造解析係数		1.00	－	－	－

※1：タイ材張力の設計用値は矢板の応力照査で得られるタイ材取付点反力の設計用値より算出する．
※2：控え組杭の支持力の検討に用いる杭軸方向力の設計用値は，組杭の応力に関する照査において得られる．
※3：控え組杭の支持力の検討に用いる抵抗力の特性値を算出する際の N 値，粘着力は特性値とする．

表-4.2.4e　標準的な部分係数

(b)レベル 1 地震動に関する変動状態

要求性能						すべての施設 使用性			
						γ	α	μ/X_k	V
控え直杭	応力	γ_{k_s}，γ_{k_c}	横抵抗定数			1.00	－	－	－
		γ_{σ_y}	鋼材降伏強度			1.00	－	－	－
		γ_a	構造解析係数			1.12	－	－	－
控え組杭	応力	γ_w	上部工の重量			1.00	－	－	－
		γ_{w_s}	上部工上の土の重量			1.00	－	－	－
		γ_q	載荷重			1.00	－	－	－
		$\gamma_{k_{ch}}$	横方向地盤反力係数			1.00	－	－	－
		γ_{σ_y}	鋼材降伏強度			1.00	－	－	－
		γ_a	構造解析係数			1.12	－	－	－
	支持力	$\gamma_{c'}$	粘着力			1.00	－	－	－
		γ_N	N 値			1.00	－	－	－
		γ_{Ru}	抵抗力	引抜杭		0.40	－	－	－
				押込杭	支持杭	0.66	－	－	－
					摩擦杭	0.50	－	－	－
		γ_a	構造解析係数			1.00	－	－	－

※1：タイ材張力の設計用値は矢板の応力照査で得られるタイ材取付点反力の設計用値より算出する．
※2：支持力の検討に用いる杭軸方向力の設計用値は，組杭の応力に関する照査において得られる．
※3：控え組杭の支持力の検討に用いる抵抗力の特性値を算出する際の N 値、粘着力は特性値とする．

4.2.3　桟橋

(1)　概要

鋼管杭を用いた直杭式横桟橋を例として（構造例を**図-4.2.5**に示す），桟橋の性能照査法の概要について以下に記述する．

(2)　要求性能及び性能規定

直杭式横桟橋の要求性能及び性能規定を**表-4.2.5**，性能照査フローの例を**図-4.2.6**に示す．

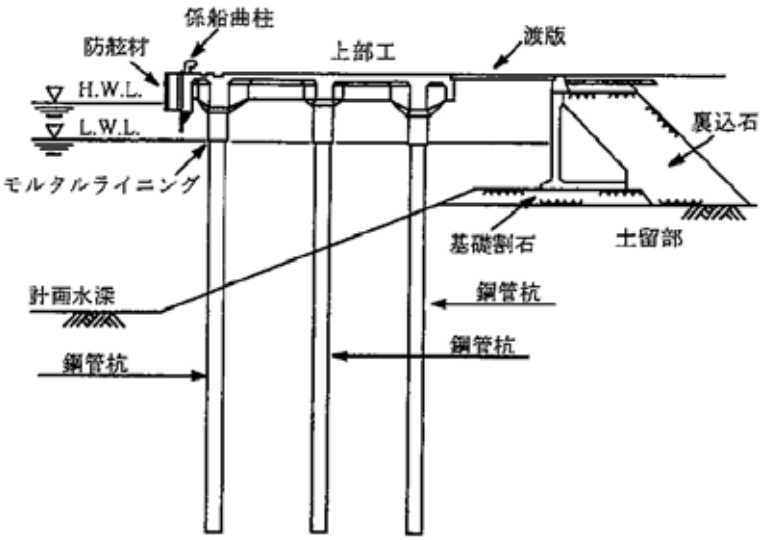


図-4.2.5　直杭式横桟橋の構造例

すべての桟橋は，載荷重，レベル１地震動，波浪などに関する変動状態に対して「使用性」を，耐震強化施設の桟橋（(特定)緊急物資輸送対応(特定)幹線物資輸送対応，(標準)緊急物資輸送対応）については，レベル２地震動に関する偶発状態に対してそれぞれ「使用性」，「修復性」を満たさなければならない．

性能設計への移行に伴い，レベル２地震動に関する偶発状態以外では杭の降伏応力度に基づいて部分係数法（信頼性設計法）により照査を行う．耐震強化施設の桟橋では，レベル２地震動以外の作用で設定した断面に対してレベル２地震動に関する偶発状態での照査を動的解析により行い，桟橋の損傷程度を考慮した照査を行う．

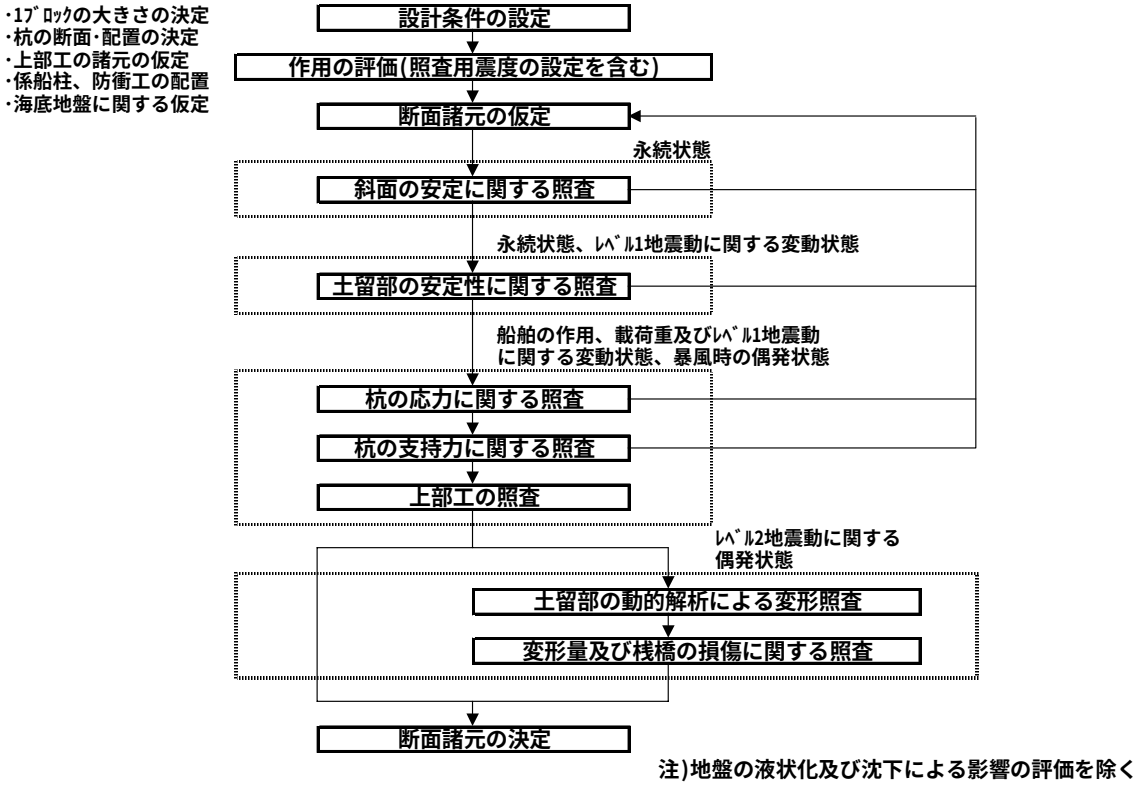


図-4.2.6　直杭式横桟橋の性能照査フローの例

表-4.2.5a　直杭式横桟橋の要求性能及び性能規定（永続状態、変動状態）

施設		一般施設及び耐震強化施設					
設計状態		永続状態	変動状態				
要求性能※		使用性	使用性				
荷重	主たる作用	自重及び土圧	船舶の接岸及び牽引	レベル１地震動	載荷重	載荷重 (繰返し)	変動波浪
	従たる作用	－	自重･載荷重	自重･載荷重	自重･風	自重	自重
一般		構造部材が健全であり，安全性が確保されていること					
杭	支持力	－	杭に作用する軸方向力の設計用値が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること	同左	同左	－	杭に作用する軸方向力の設計用値が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること
	応力	－	杭に生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	同左	－	杭に生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること	－
			【目標破壊確率】 ･一般施設 1.9×10^{-3} ･耐震強化施設 9.1×10^{-4}	【目標破壊確率】 ･一般施設 1.4×10^{-2} ･耐震強化施設 特定(緊急物資輸送対応) 特定(幹線物資輸送対応) 1.3×10^{-4} 標準(緊急物資輸送対応) 3.8×10^{-3}	【目標破壊確率】 ･一般施設 1.9×10^{-3} ･耐震強化施設 9.1×10^{-4}	【目標破壊確率】 ･一般施設 1.9×10^{-3} ･耐震強化施設 9.1×10^{-4}	
上部工	断面力	－	生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること（終局限界状態）	同左	同左	同左	同左
	疲労破壊	－	－	－	－	載荷重の繰返し作用により，上部工に生じる設計変動断面力が設計疲労強度（疲労限界状態）を超える危険性が限界値以下であること	－
	その他	－	－	－	生じる曲げひび割れ幅がひび割れ幅の制限値を超える危険性が限界値以下であること	設計曲げ圧縮応力度が圧縮応力度の限界値以下であること 曲げひび割れ幅がひび割れ幅の限界値以下であること	揚圧力により渡版の安定性が損なわれないこと
変形量		－					

※ 要求性能として供用性（船舶の安全かつ円滑な利用，人の安全な乗降及び貨物の安全かつ円滑な荷役が行えること）もある．

表-4.2.5b　直杭式横桟橋の要求性能及び性能規定（偶発状態）

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">施設</td><td colspan="3">耐震強化施設</td></tr>
<tr><td>特定(緊急物資輸送対応)</td><td>特定(幹線物資輸送対応)</td><td>標準(緊急物資輸送対応)</td></tr>
<tr><td colspan="2">設計状態</td><td colspan="3">偶発状態</td></tr>
<tr><td colspan="2">要求性能※</td><td>使用性</td><td>修復性</td><td>修復性</td></tr>
<tr><td rowspan="2">荷重</td><td>主たる作用</td><td colspan="3">レベル２地震動</td></tr>
<tr><td>従たる作用</td><td colspan="3">自重･載荷重</td></tr>
<tr><td colspan="2">一般</td><td colspan="3">構造的な安定性が保たれ，当該施設の目的，許容される損傷の程度と修復期間に応じて設定される地震後の機能を確保できる損傷の程度にとどまること</td></tr>
<tr><td rowspan="2">杭</td><td>支持力</td><td>杭に作用する軸方向力が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td>応力</td><td>桟橋を構成する杭の中に，二箇所以上で全塑性に達している杭が存在しないこと</td><td>同左</td><td>桟橋を構成する杭の中に，一箇所のみで全塑性に達している又は全塑性に達していない杭が存在すること</td></tr>
<tr><td rowspan="3">上部工</td><td>断面力</td><td>生じる設計断面力が設計断面耐力を超える危険性が限界値以下であること（終局限界状態）</td><td>同左</td><td>同左</td></tr>
<tr><td>疲労破壊</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td>その他</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td colspan="2">変形量</td><td colspan="3">変形量の限界値について適切に設定する</td></tr>
</table>

※ 要求性能として供用性（船舶の安全かつ円滑な利用，人の安全な乗降及び貨物の安全かつ円滑な荷役が行えること）もある．

桟橋の杭に発生する応力に関する照査は以下の式で行うことができる．
（レベル２地震動に関する偶発状態以外の設計状態：部分係数法）

(a)　軸方向力が引張の場合

$$\sigma_{td} + \sigma_{btd} \leq \sigma_{tyd} \quad \text{かつ} \quad -\sigma_{td} + \sigma_{bcd} \leq \sigma_{byd} \tag{4.2.2}$$

(b)　軸方向力が圧縮の場合

$$\frac{\sigma_{cd}}{\sigma_{cyd}} + \frac{\sigma_{bcd}}{\sigma_{byd}} \leq 1.0 \tag{4.2.3}$$

ここに，
σ_t, σ_c：断面に作用する軸方向引張力による引張応力度及び軸方向圧縮力による圧縮応力度 (N/mm^2)
σ_{bt}, σ_{bc} ：断面に作用する曲げモーメントによる最大引張応力度及び最大圧縮応力度(N/mm^2)
σ_{ty}, σ_{cy} ：引張降伏応力度及び弱軸に関する軸方向圧縮降伏応力度(N/mm^2)
σ_{by} ：曲げ圧縮降伏応力度(N/mm^2)

式中の設計用値は，以下により算出することができる．

$$\sigma_{td} = \frac{P_d}{A}, \sigma_{cd} = \frac{P_d}{A}, \sigma_{btd} = \frac{M_d}{Z}, \sigma_{bcd} = \frac{M_d}{Z}$$

$$\sigma_{tyd} = \gamma_{\sigma y}\sigma_{tyk}, \sigma_{cyd} = \gamma_{\sigma y}\sigma_{cyk}, \sigma_{byd} = \gamma_{\sigma y}\sigma_{byk} \tag{4.2.4}$$

ここに，
Ａ：杭の断面積(mm^2)
Ｐ：杭の軸方向力(N)
Ｚ：杭の断面係数(mm^3)
Ｍ：杭の曲げモーメント(N･mm)

なお，記号γはその添字に関する部分係数であり，添字のｄ,ｋはそれぞれ設計用値及び特性値を示す．

(3)　考慮すべき作用

桟橋において一般的に，設計上考慮する作用を**表-4.2.6**に示す．
部分係数法（信頼性設計法）では，作用の特性値に部分係数を乗じて設計用値を算定する．

表-4.2.6　桟橋における作用

鉛直力	水平力
上部工自重	上部工自重の慣性力
杭自重	杭自重の慣性力
積載荷重	積載荷重の慣性力
活荷重	活荷重の慣性力
自動車荷重	船舶の牽引力
荷役機械の荷重	防衝工反力
群集荷重	波力
船舶の牽引力	
渡版反力	
揚圧力	

(4)　耐震設計

a)　レベル１地震動に対する照査

レベル１地震動に対する照査フローの例を**図-4.2.7**に示す.

レベル１地震動については, 桟橋設置位置における工学的基盤の75年再現期間の時刻歴波形を用いる．この工学的基盤の加速度に対して１次元の地震応答解析を行い，仮想地表面下１/βの位置での加速度時刻歴を算定する. これより求めた加速度応答スペクトルから桟橋の固有周期に対応する応答加速度を重力加速度で除した値を照査用震度の特性値とする. 杭に発生する応力及び杭の支持力は部分係数法により照査を行い，杭の応力が曲げ降伏(縁部降伏)に達しないこと，杭の支持力が軸方向抵抗力に達しないことを確認する.

b)　レベル２地震動に対する照査

レベル２地震動に対する照査フローの例を**図-4.2.8**に示す.

レベル２地震動は当該地点で生じうると推定される最大級の強さを持つ地震動であり，震源特性, 伝播経路特性, サイト増幅特性を考慮した強震波形計算により設定することができる. 性能照査方法としては, 弾塑性解析から得られた桟橋構造系の荷重－変位関係の骨格曲線をモデル化したバネを有する質点系の非線形動的解析，桟橋と地盤の動的相互作用を考慮した非線形有効応力解析（FLIP等）を適用する方法等がある. 動的解析による照査では部材の損傷状態が限界となる損傷状態に達していないことを確認する. 桟橋の変形量については規定されていないが, 桟橋の動的な変形を適切に考慮して，限界値を設定し変形性能を照査することができる.

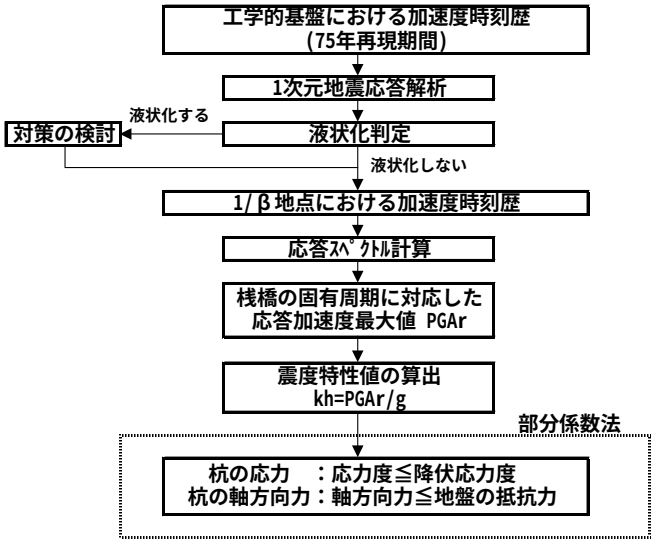


図-4.2.7　レベル１地震動に対する照査フローの例

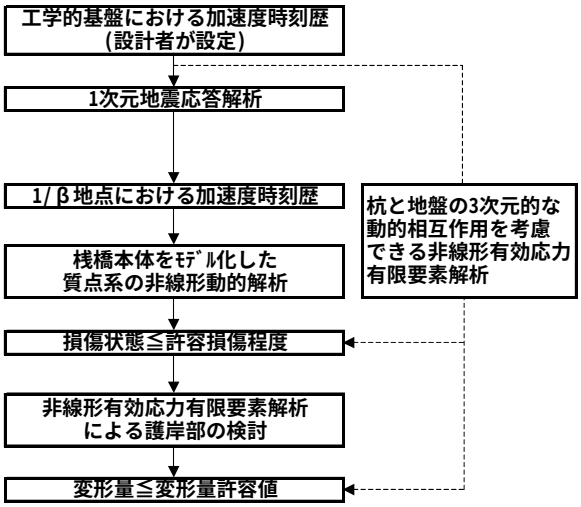


図-4.2.8　レベル２地震動に対する照査フローの例

(5) 部分係数（レベル２地震動に関する偶発状態以外の設計状態）

直杭式横桟橋の杭に発生する応力，杭の支持力に関する部分係数を**表-4.2.7**に示す.

表-4.2.7a　標準的な部分係数

船舶の作用による変動状態（船舶接岸時，牽引時），載荷重による変動状態（作業時）

(a)SKK400 使用時

			耐震強化施設				
目標信頼性指標β_T			3.2				
目標破壊確率 P_{fT}			9.1×10^{-4}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	0.719	1.260	0.08	正規
	$\gamma_{k_{cH}}$	地盤反力係数	0.60	0.257	1.333	0.76	対数正規
	γ_{P_H}	水平力	1.35	-0.645	0.870	0.25	正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			耐震強化施設以外				
目標信頼性指標β_T			2.9				
目標破壊確率 P_{fT}			1.9×10^{-3}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	0.719	1.260	0.08	正規
	$\gamma_{k_{cH}}$	地盤反力係数	0.60	0.257	1.333	0.76	対数正規
	γ_{P_H}	水平力	1.30	-0.645	0.870	0.25	正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			すべての直杭式横桟橋				
			γ	α	μ/X_k	V	
支持力	$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	—	—	—	
	γ_N	N 値	1.00	—	—	—	
	γ_a	構造解析係数 引抜杭	0.33	—	—	—	
		構造解析係数 押込杭	0.40	—	—	—	

※1： α：感度係数，μ/X_k：平均値の偏り（平均値/特性値），V：変動係数である。

※2： 水平力として，防舷材反力（船舶接岸時），牽引力（牽引時），クレーン水平力（クレーン作業時）がある.

※3： 支持力の照査に用いる杭の発生軸力の設計用値は，杭の応力の照査で得られる.

表-4.2.7b　標準的な部分係数

船舶の作用による変動状態（船舶接岸時，牽引時），載荷重による変動状態（作業時）

(b)SKK490 使用時

			耐震強化施設				
目標信頼性指標β_T			3.2				
目標破壊確率 P_{fT}			9.1×10^{-4}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	0.95	0.719	1.196	0.08	正規
	$\gamma_{k_{CH}}$	地盤反力係数	0.60	0.257	1.333	0.76	対数正規
	γ_{P_H}	水平力	1.35	-0.645	0.870	0.25	正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			耐震強化施設以外				
目標信頼性指標β_T			2.9				
目標破壊確率 P_{fT}			1.9×10^{-3}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	0.95	0.719	1.196	0.08	正規
	$\gamma_{k_{CH}}$	地盤反力係数	0.60	0.257	1.333	0.76	対数正規
	γ_{P_H}	水平力	1.30	-0.645	0.870	0.25	正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			すべての直杭式横桟橋				
			γ	α	μ/X_k	V	
支持力	$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	—	—	—	
	γ_N	N 値	1.00	—	—	—	
	γ_a	構造解析係数 引抜杭	0.33	—	—	—	
		構造解析係数 押込杭	0.40	—	—	—	

※1：α：感度係数，μ/X_k：平均値の偏り（平均値/特性値），V：変動係数である．

※2：水平力として，防舷材反力（船舶接岸時），牽引力（牽引時），クレーン水平力（クレーン作業時）がある．

※3：支持力の照査に用いる杭の発生軸力の設計用値は，杭の応力の照査で得られる．

2)載荷重（暴風時）に関する変動状態

			すべての施設			
			γ	α	μ/X_k	V
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	—	—	—
	$\gamma_{k_{CH}}$	地盤反力係数	1.00	—	—	—
	γ_{P_H}	水平力	1.00	—	—	—
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.12	—	—	—
支持力	$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	—	—	—
	γ_N	N 値	1.00	—	—	—
	γ_a	構造解析係数 引抜杭	0.40	—	—	—
		構造解析係数 押込:支持杭	0.66	—	—	—
		構造解析係数 押込:摩擦杭	0.50	—	—	—

※1：α：感度係数，μ/X_k：平均値の偏り（平均値/特性値），V：変動係数である．

※2：支持力の照査に用いる杭の発生軸力の設計用値は，杭の応力の照査で得られる．

表-4.2.7c　標準的な部分係数

3)波浪の作用による変動状態

				すべての施設			
				γ	α	μ/X_k	V
支持力	γ_P	杭の発生軸力		1.00	—	—	—
	$\gamma_{c'}$	粘着力		1.00	—	—	—
	γ_N	N 値		1.00	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	引抜杭	0.40	—	—	—
			押込:支持杭	0.66	—	—	—
			押込:摩擦杭	0.50	—	—	—

4)レベル 1 地震動による変動状態

(a)SKK400 使用時

			耐震強化施設(特定)				
目標信頼性指標β_T			3.65				
目標破壊確率 P_{fT}			1.3×10^{-4}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	0.423	1.260	0.08	正規
	$\gamma_{k_{CH}}$	地盤反力係数	0.66	0.194	1.333	0.76	対数正規
	γ_{k_h}	照査用震度	1.68	-0.885	1.000	0.20	対数正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			耐震強化施設(標準)				
目標信頼性指標β_T			2.67				
目標破壊確率 P_{fT}			3.8×10^{-3}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	0.443	1.260	0.08	正規
	$\gamma_{k_{CH}}$	地盤反力係数	0.72	0.215	1.333	0.76	対数正規
	γ_{k_h}	照査用震度	1.36	-0.870	1.000	0.20	対数正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			耐震強化施設以外				
目標信頼性指標β_T			2.19				
目標破壊確率 P_{fT}			1.4×10^{-2}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	0.455	1.260	0.08	正規
	$\gamma_{k_{CH}}$	地盤反力係数	0.80	0.195	1.333	0.76	対数正規
	γ_{k_h}	照査用震度	1.23	-0.869	1.000	0.20	対数正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			すべての直杭式横桟橋				
			γ	α	μ/X_k	V	
支持力	$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	—	—	—	
	γ_N	N 値	1.00	—	—	—	
	γ_a	構造解析係数 引抜杭	0.40	—	—	—	
		押込:支持杭	0.66	—	—	—	
		押込:摩擦杭	0.50	—	—	—	

※1：α：感度係数，μ/X_k：平均値の偏り（平均値/特性値），V：変動係数である．

※2：支持力の照査に用いる杭の発生軸力の設計用値は，杭の応力の照査で得られる．

表-4.2.7d　標準的な部分係数

4)レベル 1 地震動による変動状態

(b)SKK490 使用時

			耐震強化施設(特定)				
目標信頼性指標β_T			3.65				
目標破壊確率 P_{fT}			1.3×10^{-4}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	0.423	1.196	0.08	正規
	$\gamma_{k_{cH}}$	地盤反力係数	0.66	0.194	1.333	0.76	対数正規
	γ_{k_h}	照査用震度	1.77	-0.885	1.000	0.20	対数正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			耐震強化施設(標準)				
目標信頼性指標β_T			2.67				
目標破壊確率 P_{fT}			3.8×10^{-3}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	0.443	1.196	0.08	正規
	$\gamma_{k_{cH}}$	地盤反力係数	0.72	0.215	1.333	0.76	対数正規
	γ_{k_h}	照査用震度	1.43	-0.870	1.000	0.20	対数正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			耐震強化施設以外				
目標信頼性指標β_T			2.19				
目標破壊確率 P_{fT}			1.4×10^{-2}				
			γ	α	μ/X_k	V	確率分布
杭の応力	γ_{σ_y}	鋼材降伏強度	1.00	0.455	1.196	0.08	正規
	$\gamma_{k_{cH}}$	地盤反力係数	0.80	0.195	1.333	0.76	対数正規
	γ_{k_h}	照査用震度	1.30	-0.869	1.000	0.20	対数正規
	γ_q	載荷重	1.00	—	—	—	—
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—	—
			すべての直杭式横桟橋				
			γ	α	μ/X_k	V	
支持力	$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	—	—	—	
	γ_N	N 値	1.00	—	—	—	
	γ_a	構造解析係数 引抜杭	0.40	—	—	—	
		構造解析係数 押込:支持杭	0.66	—	—	—	
		構造解析係数 押込:摩擦杭	0.50	—	—	—	

※1：　α：感度係数，μ/X_k：平均値の偏り（平均値/特性値），V：変動係数である．

※2：　支持力の照査に用いる杭の発生軸力の設計用値は，杭の応力の照査で得られる．

（笠原，竹鼻，長瀬，竹内）

4.3　鉄道構造物分野の設計法の現状

4.3.1　対象構造物

鉄道施設構造物分野としては，以下の構造物を対象とした．

・鋼製橋脚
・合成柱（ＣＦＴ柱）
・開削トンネル（鋼製地下連続壁を本体に利用する構造物）
・鋼管杭，鋼管矢板井筒基礎

4.3.2　設計の基本

（１）設計基準について

対象構造物の適用設計基準は，以下の通りである．

・鋼製橋脚：鉄道構造物等設計標準・同解説　鋼・合成構造物（平成 4 年）
・合成柱：鉄道構造物等設計標準・同解説　鋼とコンクリートの複合構造物（平成 10 年）
・開削トンネル：鉄道構造物等設計標準・同解説　開削トンネル（平成 13 年）
・鋼管杭，鋼管矢板井筒基礎：鉄道構造物等設計標準・同解説　基礎構造物（平成 12 年）

（２）設計対象・範囲について

上記の設計標準には，設計対象・範囲について以下のように規定されている．

a)鋼・合成構造物

本標準は，支間１５０m以下の鋼鉄道橋の限界状態設計法に基づく設計に適用する．ただし，特別な検討により安全であることを確かめた場合には，本標準によらず，適切と考えられる方法を採用してよい．なお，本標準は鋼鉄道橋を対象としているが，橋梁以外の主として列車荷重を受ける鋼構造物にも準用されることを考慮している．

b)鋼とコンクリートの複合構造物

コンクリート充填鋼管構造物の鉄道構造物を，限界状態設計法に基づいて設計する場合には，一般に，本標準によるものとする．ただし，特別な検討により安全であることを確かめた場合には，本標準によらず，適切と考えられる方法を採用してよい．

c)開削トンネル

鉄道の開削トンネルを限界状態設計法に基づいて設計する場合には，一般に，本標準によるものとする．ただし，特別な検討により安全であることを確かめた場合には，本標準によらず適切と考えられる方法を採用してよい．

d)基礎構造物

鉄道構造物の基礎を限界状態設計法に基づいて設計する場合には，一般に，本標準によるものとする．ただし，特別な検討により安全であることを確かめた場合には，本標準によらず適切と考えられる方法を採用してよい．

（３）設計供用期間について

設計供用期間について以下のように規定されている．

a)鋼・合成構造物

設計供用期間は，構造物または部材がその使用にあたり，目的とする機能を十分に果たさなければならない設計上考慮する期間である．疲労設計においては，在来線 60 年，新幹線 70 年を考慮している．

b)鋼とコンクリートの複合構造物

構造物の設計耐用期間は，構造物に要求される使用期間，および環境条件などによる構造物の

耐久性を考慮して定めることを原則とし，概ね 100 年を考えることとしている．

c)開削トンネル

開削トンネルの設計耐用期間は,トンネルに要求される使用期間および環境条件等によるトンネルの耐久性を考慮して定めるものとする.開削トンネルを構成する構造要素の種別による設計耐用期間を総合的に勘案し，一般には概ね 100 年程度を考えることとする．

d)基礎構造物

基礎の設計耐用期間は，上部工に準じて定めるものとする．この場合，基礎は，一般に地中または水中に設置されるため，維持管理における検査，補修，補強が困難な場合が多く，設計耐用期間中は原則としてメンテナンスフリーを目標とした設計が必要である．

（４）要求性能について

要求性能について以下のように規定されている．

a)鋼・合成構造物

構造物はその使用目的に適合し,安全でかつ経済的なものであるとともに環境との調和を考慮したものでなければならない．このため設計にあたっては，強度，変形，安定，耐久性，施工性，保守，美観，騒音，振動等について十分な検討を行うものとする．

b)鋼とコンクリートの複合構造物

鉄道構造物は，その目的に適合し，安全かつ経済的でなければならない．このためには，構造物または部材が施工中ならびに使用中に使用する荷重に対して適度な安全性を保ち,通常の使用時に列車が安全かつ快適に走行できるように設計しなければならない．また，施工が容易であること，設計耐用期間に応じた十分な耐久性を持つこと，維持管理が容易であること，環境に適合することにも留意しなければならない．

c)開削トンネル

開削トンネルは，安全かつ経済的で，その目的に適合するよう設計を行うものとする．開削トンネルは，一般に，補修，補強および改築が困難な場合が多いので，設計の段階において地盤条件，地下水の性状，使用材料および施工方法などについて十分な検討を行い，設計耐用期間中に起こり得る限界状態を的確に予測して,耐久的で維持管理が容易なトンネルの設計を行うことが重要である．

d)基礎構造物

基礎は，設計耐用期間を通して上部構造物を安全に支持するとともに，有害な変位を生じないように設計しなければならない．

4.3.3　限界状態

鉄道構造物等設計標準（鋼・合成構造物，鋼とコンクリートの複合構造物，開削トンネル）は，限界状態設計法が採用されおり，以下の限界状態が設定されている．

・終局限界状態：構造物または部材が破損したり，転倒，座屈，大変形等を起こし，機能や安定を失う状態

・使用限界状態：構造物または部材が過度のひび割れ，変位，変形，振動を起こし正常な使用ができなくなったり，耐久性を損なったりする状態

・疲労限界状態：構造物または部材が変動荷重の繰返し作用により疲労破損する状態

また，基礎構造物については，以下のように限界状態が設定されている．

・終局限界状態：設計耐用期間中に地震を除くごくまれに作用する荷重に対して，基礎が安定や機能を失うか，あるいは基礎の変位が降伏点を越える状態

・地震時終局限：設計耐用期間中に作用する大地震の影響により，基礎が壊滅的な損傷を生じ，

界状態　　安定や機能を失う状態

・使用限界状態：設計耐用期間中にしばしば作用する荷重に対して，基礎が所要の使用性や耐久性を失うか，あるいは基礎の変位が弾性とみなされる限界を超える状態

・長期使用限界状態：設計耐用期間中に常にまたは長期にわたって作用する荷重に対して，基礎が所要の信用性を失うか，あるいは耐久性を失う状態

・地震時使用限界状態：設計耐用期間中に作用する中地震の影響により，基礎が使用性や耐久性を失うか，あるいは基礎の変位が降伏点を越える状態

4.3.4　照査方法と照査項目（限界状態）

今回対象としている設計標準における照査方法と照査項目を以下に示す.

（１）終局限界状態について（鋼・合成構造物，鋼とコンクリートの複合構造物，開削トンネル）

a)鋼・合成構造物

終局限界状態の照査は，設計断面耐力と設計断面力を構造物係数γ_iを用いて比較する式（4.3.1）の照査式によるものとしている.

$$\gamma_i \frac{\gamma_a \cdot P}{P_u / \gamma_b} \leqq 1.0 \qquad (4.3.1)$$

P:作用軸方向力

P_u:断面耐力

γ_a:構造解析係数

γ_b:部材係数

γ_i:構造物係数

上式を変形した部材の照査式が，照査項目に応じて提示されており，必要に応じて照査することとしている.

b)鋼とコンクリートの複合構造物及び開削トンネル

断面破壊の限界状態に対する安全性の検討は，設計断面耐力R_dが設計断面力S_dに対して，式（4.3.2）の条件を満たす方法により行うことを原則とする.

$$\gamma_i \cdot \frac{S_d}{R_d} \leqq 1.0 \qquad (4.3.2)$$

S_d:設計断面力

R_d:設計断面耐力

γ_i:構造物係数

（２）使用限界状態について（鋼・合成構造物，鋼とコンクリートの複合構造物，開削トンネル）

a)鋼・合成構造物

構造物または部材が過度の振動，変位，変形を起こし，正常な使用ができなくなったり耐久性を損なったりすることがないように，たわみの照査，変位の照査を行う.

b)鋼とコンクリートの複合構造物

構造物または部材が設計耐用期間中に十分な機能を保持できるようにするため，一般に，応力度，耐久性，変位・変形等に対する使用限界状態を設定し，適切な方法によって検討することを原則とする.

c)開削トンネル

使用限界状態に関する検討は，応力度，ひび割れ等に対して行うものとし，地盤の状況に応

じて，く体の安定に関する検討を行うものとする．

（３）疲労限界状態について（鋼・合成構造物，鋼とコンクリートの複合構造物，開削トンネル）

a)鋼・合成構造物

疲労限界状態の照査は，疲労限の照査と，繰返し数の影響を考慮した疲労の照査からなり，疲労限の照査の結果,必要となったものについてのみ繰返し数の影響を考慮した疲労の照査を行う．

b)鋼とコンクリートの複合構造物及び開削トンネル

・設計断面力において，変動荷重の占める割合が大きく，かつ繰り返し回数が多い場合には，疲労に対する安全性の検討を行わなければならない．

・梁については，一般に，曲げおよびせん断に対して疲労の検討を行うこととしてよい．

・スラブについては，一般に曲げおよび押し抜きせん断に対して疲労の検討を行うこととしてよい．

・柱に対しては，一般に疲労の検討を省略してよい．ただし，曲げモーメントまたは軸方向引張力の影響が特に大きい場合には，梁に準じて疲労の検討を行うこととする．

（４）基礎構造物の各限界状態について

基礎構造物における照査方法と照査項目を以下に示す．

a)鉛直支持に対する検討

1)鋼管杭

杭頭における設計鉛直支持力が杭頭に作用する設計鉛直力に対して，式（4.3.3）の条件を満たすこと．

$$\gamma_i \cdot \frac{V_d}{R_{vd}} \leqq 1.0 \qquad (4.3.3)$$

V_d:杭頭に作用する設計鉛直力

R_{vd}:杭頭における設計鉛直支持力

γ_i:構造物係数

2)鋼管矢板井筒基礎

地震時終局限界状態を除く各限界状態に対する検討において,鋼管矢板の設計鉛直支持力が鋼管矢板井筒下端に発生する設計最大鉛直力に対して,式(4.3.4)の条件を満たすこと．

$$\gamma_i \cdot \frac{R_0}{R_{vd}} \leqq 1.0 \qquad (4.3.4)$$

R_0:鋼管矢板の設計最大鉛直地盤反力

R_{vd}:鋼管矢板の設計鉛直支持力

γ_i:構造物係数

b)引抜きに対する検討

1)鋼管杭

杭基礎の設計引抜き抵抗力が，杭頭に作用する設計引抜き力に対して，式（4.3.5）の条件を満たすこと．

$$\gamma_i \cdot \frac{V_{ud}}{R_{ud}} \leqq 1.0 \qquad (4.3.5)$$

V_{ud}:杭頭における設計引抜き力

R_{ud}:杭頭における設計引抜き抵抗力

γ_i:構造物係数

2)鋼管矢板井筒基礎

地震時終局限界状態を除く各限界状態に対する検討において,原則として鋼管矢板に設計引抜き力が生じないこと.

c)変位に対する検討

杭基礎及び鋼管矢板井筒基礎の設計水平変位量が,杭基礎及び鋼管矢板井筒基礎の変位量の制限値に対して式（4.3.6）の条件を満たすこと.

$$\gamma_i \cdot \frac{\delta_d}{\delta_L} \leqq 1.0 \qquad (4.3.6)$$

δ_d:杭基礎及び鋼管矢板井筒基礎の設計水平変位量

δ_L:杭基礎及び鋼管矢板井筒基礎の水平変位量の制限値

γ_i:構造物係数

d)部材の検討

1)鋼管杭

杭体は，各限界状態に対する検討により求めた断面力に対して，安全性を確保するように設計しなければならない．照査方法については，「鋼・合成構造物」に準じる.

2)鋼管矢板井筒基礎

鋼管矢板井筒基礎を構成する部材のうち鋼管矢板については,各限界状態に対する検討において算定した軸方向応力度と仮締切り時に発生する残留応力度との合成応力度が制限値を超えないように設計しなければならない.

鋼管矢板を除くその他の部材については,地震時使用限界状態を除く各限界状態に対する検討において,完成後に作用する外力による設計断面力が設計断面耐力を超えないように設計しなければならない.

（５）安全係数について

安全係数については，各設計標準において，標準的な値が示されている．ここでは,「鋼とコンクリートの複合構造物」及び「基礎構造物」に示されている標準的な値を**表-4.3.1～2** に示す.

表-4.3.1　安全係数の標準的な値（鋼とコンクリートの複合構造物）

	荷重係数 γ_f	構造解析係数 γ_a	材料係数 γ_m		部材係数 γ_b	構造物係数 γ_i
			γ_c	γ_s		
終局限界状態	1.0～1.2 (0.8～1.0)*1	1.0*2	1.3 (1.0)*3	1.05 (1.15)*4	1.15 (1.05)*5 (1.3)*6,*7 (1.65)*8	1.0*9～1.2
使用限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
疲労限界状態	1.0	1.0	1.3	1.0	1.0～1.1 (1.3)*6	1.0～1.1
終局限界状態 （地震時）	1.0	1.0*2	1.3	1.05 (1.15)*4	1.0 (1.15)*10	1.0

*1　(　)内は，小さい方が不利となる場合に適用する.
*2　一般に線形解析の場合とする.
*3　(　)は，アンカーボルトの設計で曲げ耐力の算定に適用する.
*4　構造用鋼材(SM570，SMA570)の場合に適用する.
*5　(　)内は，埋込み方式の設計において，曲げ耐力の算定に適用する.
*6　(　)は，コンクリートの強度により定まるせん断耐力および，ねじり耐力の算定に適用する.
*7　(　)は，充填鋼管柱との接合部の設計において，曲げ耐力の算定に適用する.
*8　(　)は，アンカーフレーム方式の設計において，アンカーボルトのせん断耐力算定に適用する.
*9　主たる変動荷重と組み合わせる場合には，一般に 1.1 以上とするのがよい.
*10　(　)は，せん断耐力の算定に適用する.

表-4.3.2　安全係数の標準的な値（基礎構造物）

	荷重係数 γ_f	構造解析係数 γ_a	構造体に関する係数			構造物係数 γ_i	地盤に関する係数		
			材料係数 γ_m		部材係数 γ_b		地盤調査係数*5 f_g	地盤抵抗係数 f_r	地盤特性係数 f_p
			コンクリート γ_c	鋼材 γ_s					
長期使用限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0～1.2	0.8～1.0	0.0～0.85	1.0～1.2
使用限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0～1.2	0.8～1.2	0.15～1.0	1.0～1.2
終局限界状態	1.0～1.2*1	1.0	1.3	1.0*3～1.1	1.15 1.3*4	1.0～1.2	0.8～1.2	0.30～1.0	1.0～1.2
地震時使用限界状態	1.0	1.0	—	—	—	1.0～1.2	0.8～1.2	0.35～1.0	1.0～1.2
地震時終局限界状態	1.0	1.0	1.0 1.3*2	1.0*3～1.1	1.0 1.15*4	1.0～1.2	0.8～1.2	1.0	1.0～1.2

*1　小さい方が不利となる場合は(1.0～0.8)の値を用いる.
*2　上部構造物の設計水平震度を用いて部材の検討を行う場合に用いる.
*3　鉄筋コンクリートの断面耐力算定に用いる場合は1.0とする.
*4　コンクリートの強度により定まるせん断耐力の算定に用いる.
*5　精度の高い調査・試験を実施した場合には1.0以上としてよい.

4.3.5　作用と荷重

（１）基本的な考え方について

a)鋼・合成構造物

構造物の設計には，施工中および設計耐用期間中に作用する荷重を，照査すべき限界状態と照査事項に応じて適切に組み合わせて用いなければならない．設計荷重は，永久荷重，変動荷重，偶発荷重およびその他の荷重からなるものとし，照査すべき限界状態に応じて組み合わせるものとする．なお，終局限界状態の照査においては一般に変動荷重は主たる変動荷重または従たる変動荷重として組み合わせることを原則とする．

b)鋼とコンクリートの複合構造物，開削トンネル，基礎構造物

構造物の設計には，施工中および設計耐用期間中に作用する永久荷重，変動荷重および偶発荷重を，限界状態と検討事項に応じて，適切な組み合わせのもとに考慮しなければならない．

（２）荷重作用の種類

設計に用いる荷重作用の主なものとして以下のものが挙げられる．

ａ）死荷重，ｂ）列車荷重，ｃ）風作用，ｄ）地震作用，ｅ）波浪等の作用，ｆ）地盤作用，ｇ）衝撃作用

永久荷重は，その変動が無視できるほどに小さく，持続的に作用する荷重であり，死荷重等がある．コンクリートの収縮およびクリープの影響も永久荷重と同様に扱ってよい．

変動荷重は，頻繁にまたは継続的に作用し，その変動が無視できない荷重であり，列車荷重，衝撃，遠心荷重，車両横荷重，車輪横圧荷重，制動荷重，始動荷重，ロングレール縦荷重，温度変化の影響，風荷重，雪荷重等がある．

偶発荷重は，設計耐用期間中に作用する頻度がきわめて小さいが，作用すると影響が非常に大きい荷重であり，地震の影響，衝突荷重等がある．

（３）荷重作用の組合せ

設計荷重の組合せは，構造物または部材の種類，限界状態および検討事項に応じて，適切に定める．ここでは,「鋼とコンクリートの複合構造物」に示されている設計荷重の組合せを表-4.3.3

に示す.

4.3.6　材料の設計用値

（1）鋼材及びコンクリート

・コンクリートあるいは鋼材の品質は，設計上の品質に応じて，圧縮強度あるいは引張強度に加え，その他の強度特性，弾性係数その他の変形特性，熱特性，耐久性，水密性などの材料特性によって評価するものとする.

・材料強度の特性値 f_k は，試験値のバラツキを考慮した上で，大部分の試験値がその値を下回らないことが保証された値とする.

・材料強度の規格値 f_n が特性値とは別に定められている場合には，材料強度の特性値 f_k は，規格値 f_n に適切な材料修正係数 ρ_m を乗じた値とする.

・設計材料強度 f_d は，材料強度の特性値 f_k を材料係数 γ_m で除した値とする.

4.3.7　構造設計方法

（1）構造解析方法

a) 鋼・合成構造物

・構造解析においては，構造に応じた適切な境界条件および構造モデルを選定するものとする.

・構造解析にあたっては，弾性微小変位解析を行うことを前提とする.

表-4.3.3　設計荷重の組合せ

構造物の種類	限界状態の種別	設計荷重の組合せ
桁	終局	・$1.1D_1+1.2D_2+1.1L+1.1I+1.1C+\{L_F\}+\{W\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.1L_F+\{+\{L+I+C\}+\{W\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.2W$
	使用	・$D_1+D_2+S_H+C_R+T+[L+I+C]$ ……ひび割れ ・$D_1+D_2L+[I]+C$ ……列車荷重によるたわみ ・$D_1+D_2+S_H+C_R$ ……長期変形
	疲労	・$D_1+D_2+L+I+C$ ……列車荷重による疲労
橋脚 橋台	終局	・$1.1D_1+1.2D_2+1.1L+1.1I+1.1C+\{L_F\}+\{W\}+[W_P]+[E]$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.1L+1.1I+\{B\}+\{L_R\}+[W_P]+[E]$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.1B+\{L\}+\{L_R\}+\{W_P\}+[E]$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.1L_R+\{L+I\}+\{B\}+[W_P]+[E]$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.2W+\{W_P\}+[E]$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.2W_P+\{W\}+[E]$ ・$1.0D_1+1.0D_2+1.0E_Q+\{L\}$
	使用	・$D_1+D_2+L_R+L+I+C+[E]$ ……ひび割れ
	疲労	・$D_1+D_2+L+I+C$ ……列車荷重による疲労
ラーメン構造物 アーチ	終局	・$1.1D_1+1.2D_2+[S_H+C_R+T]+1.1L+1.1I+1.1C+\{L_F\}+\{W\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+[S_H+C_R+T]+1.1L_F+\{L+I+C\}+\{W\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+[S_H+C_R+T]+1.1L+1.1I+\{B\}+\{L_R\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+[S_H+C_R+T]+1.1B+\{L\}+\{L_R\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+[S_H+C_R+T]+1.1L_R+\{=+I\}+\{B\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+[S_H+C_R+T]+1.2W$ ・$1.0D_1+1.0D_2+[S_H+C_R+T]+1.0E_Q+\{L\}$
	使用	・$D_1+D_2+S_H+C_R+T+L_R+[L+I+C]$ ……ひび割れ ・$D_1+D_2+L+[I]+C$ ……列車荷重によるたわみ ・$D_1+D_2+S_H+C_R$ ……長期変形
	疲労	・$D_1+D_2+L+I+C$ ……列車荷重による疲労
支承部		「15章 支承部の設計」による.
片持ちスラブ 橋側歩道	終局	・$1.1D_1+1.2D_2+1.1L+1.1I+1.1C+\{L_M \text{ or } L_P\}+\{H\}+\{W\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.2(L_M \text{ or } L_P)+1.2H+\{L+I+C\}+\{W\}$ ・$1.1D_1+1.2D_2+1.2W$
	使用	・D_1+D_2 ……ひび割れ ・$D_1+D_2+L_P$ ……群集荷重によるたわみ
施工時	終局	・$1.0D_1+\{E_R\}+[E_Q]$ ・$1.0D_1+E_R+[W]$

注）荷重の記号は特性値を意味する.
{　} を付けた荷重は，従たる変動荷重を意味する.
[　] を付けた荷重は，必要に応じて組合せを考慮する.
死荷重に対する荷重係数は，小さい方が不利となる場合には 0.8～1.0 とする.

［記号］
D_1：固定死荷重
D_2：付加死荷重
L：列車荷重
I：衝撃
C：遠心荷重
L_F：車両横荷重および車輪横圧荷重
B：制動荷重および始動荷重
L_M：軌道作業車荷重
L_P：群集荷重
L_R：ロングレール縦荷重
C_R：コンクリートのクリープの影響
S_H：コンクリートの収縮の影響
T：温度変化の影響
E：土圧
W_P：水圧，流水力および波力
W：風荷重
E_Q：地震の影響
E_R：施工時荷重
H：高欄推力

・電算機を使用して構造解析を行う場合には，計算に用いるプログラムの適合性について十分配慮するものとする．構造解析用のプログラムの使用にあたっては，構造モデル，計算目的，計算条件，計算手法などの適合性を十分検討する必要がある．代表的な計算手法には，骨組構造解析法として，平面および立体骨組構造解析法・任意形格子理論に基づく方法などがあり，薄板よりなる構造物の解析法として，有限要素法（ＦＥＭ）・有限帯板法（ＦＳＭ）・直交異方性板理論などがある．

b)鋼とコンクリートの複合構造物

・構造解析を行う場合，構造物の形状，支持条件，限界状態および検討事項に応じて，適切な構造解析モデルを仮定するものとする．

・構造物は，その形状等に応じて，梁，柱，スラブ，ラーメン，アーチおよびこれらの組合せからなる単純化した構造解析モデルに置換して解析してよい．

・構造解析を行う場合，荷重の分布状態を単純化したり，動的荷重を静的荷重に置き換えたりするなど，荷重についても実際のものと等価または安全側にモデル化してよい．

・構造物の断面に作用する曲げモーメント，軸方向力，せん断力，ねじりモーメントの各断面力は，限界状態ごとに適切な解析理論を用いて求めるものとする．

・不静定力の計算に用いる断面二次モーメントは，鉄筋および鉄骨両方の影響を考慮して部材の全断面を有効として求めてよい．

c)開削トンネル

・構造解析は,構造物の形状，支持条件，限界状態等に応じて，横断方向について適切な構造解析モデルを設定して行うものとする．なお，縦断方向に支持地盤が変化したり局部荷重が分布したりする等の場合には，必要に応じて縦断方向についても構造解析を行うものとする．

・構造物は，その形状等に応じて，スラブ，梁，柱，壁，ラーメンおよびこれらの組合せからなる単純化した構造解析モデルに置換して析を行うことができる．

・構造解析に用いる荷重について，分布状態を単純化したり，動的荷重を静的荷重に置換えたりする場合は，実際のものと等価または安全側となるようにモデル化するものとする．

・構造物の断面に作用する曲げモーメント，軸方向力，せん断力，ねじりモーメントの各断面力は，各限界状態に応じた解析理論を用いて求めるものとする．

・線形解析に用いる断面剛性は，鋼材の影響を考慮して求めるものとする．ただし，鉄筋コンクリートの断面二次モーメントのように鋼材の影響が小さい場合には，鋼材の影響を無視して算定することができる．

・耐震の検討における構造解析は，「耐震標準」によるものとする．

d)基礎構造物

・杭基礎の設計杭頭作用力，設計変位量および杭体の設計断面力の算定は，原則として杭，フーチング，地中梁等の基礎を構成する各部材を弾性体とし，杭体の節点間に地盤ばねを設けたラーメン構造モデルとした骨組解析により算定するものとする．

・鋼管矢板井筒基礎の設計断面力および設計変位量は，基礎本体の曲げ剛性を考慮し，基礎全面の設計水平地盤反力係数，基礎底面の設計鉛直地盤反力係数および設計せん断地盤反力係数を用いて，鋼管矢板井筒基礎を弾性床上の有限長梁として算定することを原則とする．

4.3.8　構造物，部材の照査方法

（１）鋼・合成構造物

終局限界状態の照査においては，「**4.3.4　照査方法と照査項目（限界状態）**」で述べた照査式により行う．照査項目としては，以下のものがある．

ａ）部材の終局限界状態の照査

・軸方向力を受ける部材の照査
・曲げモーメントを受ける部材の照査
・軸方向力および曲げモーメントを受ける部材の照査
・せん断力あるいはねじりモーメントを受ける部材の照査
・曲げモーメントとせん断が同時に作用する部材の照査
・二軸応力状態の照査

ｂ）板要素の終局限界状態の照査

・部材の軸方向に圧縮力を受ける板要素
・部材の軸方向の圧縮力と曲げモーメントを受ける板要素
・せん断力と曲げモーメントを受ける部材の腹板

ｃ）連結部の終局限界状態の照査

・溶接継手の照査
・高力ボルト継手の照査
・普通ボルト継手の照査
・ピン継手の照査

使用限界状態の照査においては，以下のようにたわみの照査，変位の照査を行う．

・たわみの照査

主桁，　横桁のたわみおよび左右レール位置でのたわみ差の照査は，式（4.3.7）によるものとする．

$$\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \cdot \delta / \delta_u \leqq 1.0 \qquad (4.3.7)$$

δ:たわみ

δ_u:たわみの制限値

γ_a:構造解析係数

γ_b:部材係数

γ_i:構造物係数

・変位の照査

列車を支持する構造物上のレールレベルでの水平方向の変位の照査は，式（4.3.8）によるものとする．ただし，バラスト軌道の場合は目違いの検討を行わなくてよい．

$$\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \cdot \delta_H / \delta_{HU} \leqq 1.0 \qquad (4.3.8)$$

δ_H:レールレベルでの変位量

δ_{HU}:レールレベルでの変位量の制限値

γ_a:構造解析係数

γ_b:部材係数

γ_i:構造物係数

疲労限界状態の照査は，疲労限の照査と繰返し数の影響を考慮した疲労の照査からなり，疲労限の照査の結果，必要となったものについてのみ繰返し数の影響を考慮した疲労の照査を行う．

$$\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \cdot \Delta\sigma / \Delta\sigma_0 \leqq 1.0 \qquad (4.3.9)$$

$\Delta\sigma$：最大作用応力範囲

$\Delta\sigma_0$：疲労限としての応力範囲

γ_a:構造解析係数

γ_b:部材係数

γ_i:構造物係数

また，鋼製ラーメン構造においては，以下の項目に留意して設計することとしている．

・立体的な機能を確保するために，横方向に十分剛な構造を設けること．これがない場合は立体骨組みとして別途計算を行い，安全性を照査するものとする．

・断面が変化しているラーメン部材は，代表的な断面で不静定力を計算するものとする．

・基礎構造物の回転，相対的変位が予想される場合は，その影響を設計において考慮するものとする．

・荷重の集中点，フランジあるいは腹板の屈折部などには，箱断面の場台はダイヤフラムを，Ｉ断面の場合は補剛材を設けるものとする．

・ラーメン隅角部は，はりと柱の応力の流れを円滑に伝達させると同時に，隅角部内の局部的な応力集中に対して十分配慮するものとする．

・ラーメン隅角部の下フランジの強化はなるべくリブによらず，その板厚を増すものとする．また，隅角部の半径もできるだけ大きくするものとする．

・隅角部付近に用いるダイヤフラムの厚さは，腹板中心間の 1/60 以上を標準とする．ラーメンで桁を支承する箇所にも強固なダイヤフラムを設け，その厚さは腹板中心間の 1/50 以上を標準とする．その他のダイヤフラムの厚さは腹板中心間の 1/80 以上を標準とする．

・ラーメンの柱の基部等下部構造としての性質を有するとみられる部材は,設計荷重の選定，防食，　基礎への力の伝達が十分な構造とするなどの点に留意して設計を行うものとする．

（２）鋼とコンクリートの複合構造物

終局限界状態の照査においては,「**4.3.4　照査方法と照査項目（限界状態）**」で述べた照査式により行う．照査項目としては，以下のものがある．

・曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の検討

・せん断力に対する安全性の検討

・ねじりに対する安全性の検討

・溶接継手の破壊に対する安全性の検討，高力ボルト継手の破壊に対する安全性の検討

使用限界状態の照査項目としては，以下のものがある．

・応力度の検討

・耐久性に対する検討

・変位・変形に対する検討

疲労限界状態の照査は，柱部材については，一般に省略してよいとしている．但し，変動荷重による曲げモーメントまたは軸方向引張力の影響が特に大きい場合には，疲労の検討を行うこととしている．

また，橋脚及びラーメン構造においては，以下の項目に留意して設計することとしている．

ａ）橋脚

・橋脚の躯体頂面の寸法は，上部構造の種類，スパンおよび地震時の落橋防止等を考慮して定めるのがよい．

・桁座は，支承構造に応じて十分な補強を行わなければならない．

・躯体頂面には，排水をよくするため，適切に勾配をつけることとする．特に寒冷地では，この勾配を急にして排水を十分にする．

・橋脚に流水，流下土石，自動車等が衝突する恐れのある場合には，適切な保護工を設ける

こととする．

・橋脚の両端部には，ダイヤフラムを設けるのがよい．

b) **ラーメン構造物**

・柱両端および隅角部には，ダイヤフラムを設けるのがよい．

・固定支点のラーメンとして解析する場合には，フーチングの回転が無視できる程度にフーチングを大きくするか，十分に剛な地中梁を設けなければならない．

（３）開削トンネル

鋼製地下連続壁の終局限界状態に関する検討は，以下の項目について行うものとする．

ａ）鉛直方向の安全性の検討

1) 曲げモーメントおよび軸方向力を受ける部材の照査

・一体壁形式の場合

・重ね壁形式の場合

・単独壁形式の場合

2) せん断力を受ける部材の照査

・一体壁形式の場合

・重ね壁形式の場合

・単独壁形式の場合

3) 曲げモーメントおよび軸方向力とせん断力が同時に作用する部材の照査

ｂ）水平方向の安全性の検討

1) 曲げモーメントおよび軸方向力を受ける部材の照査

・一体壁形式の場合

・重ね壁形式の場合

・単独壁形式の場合

2) せん断力を受ける部材の照査

・一体壁形式の場合

・重ね壁形式の場合

・単独壁形式の場合

使用限界状態の照査項目としては，以下のものがある．

・応力度の検討

・ひび割れの検討

また，鋼製地下連続壁の正常な使用が損なわれないように止水，腐食等について検討を行うものとする．

また，鋼製地下連続壁の設計においては，以下の項目に留意するものとする．

・床版と鋼製地下連続壁との結合部は，作用する曲げモーメント，せん断力，軸力を円滑に伝達できる構造とするものとする．

・床版と鋼製地下連続壁・内壁との結合は，結合部に作用する断面力を円滑にかつ安全に伝える構造とするとともに，施工性についても十分に配慮するものとする．

（４）基礎構造物

鋼管杭の杭体の各限界状態に対する安全性の検討は，以下の項目について行うものとする．

ａ）長期使用限界状態および使用限界状態

一般に省略してよい．

ｂ）終局限界状態

・曲げモーメントおよび軸方向力を同時に受ける部材の照査

・せん断力を受ける部材の照査

・曲げモーメントとせん断力が同時に作用する部材の照査

ｃ）地震時使用限界状態

一般に省略してよい.

ｄ）地震時終局限界状態

ｂ）終局限界状態の設計に準じて行う.

鋼管矢板井筒基礎の部材の設計は以下の各項による.

ａ）頂版

鋼管矢板井筒基礎の頂版は，頂版と橋脚の剛性および頂版と鋼管矢板の結合状態を考慮して設計するものとする.

ｂ）鋼管矢板と頂版の接合部

仮締切兼用方式鋼管矢板井筒基礎の鋼管矢板と頂版との接合部は，頂版に作用する荷重を確実に井筒本体へ伝える構造に設計するものとする.

鋼管矢板井筒基礎においては，以下の項目に留意して設計することとしている.

・鋼管矢板本管は，適切な寸法を選定するものとし，連結時や打設中に変形を生じるおそれがある場合には，補強を行うものとする．また，鋼管矢板本管の現場円周溶接は，打設時の応力および完成後の荷重に対して安全でなければならない.

・鋼管矢板継手管は，適切な寸法を選定するものとし，先端部は鋼管矢板の打設時に土砂等ができるだけ混入しない構造とする．また，仮締切り後，水中切断する鋼管矢板継手管はあらかじめそれらを見込んだ構造としておくものとする.

・鋼管矢板と頂版の接合部は，上部工から頂版に作用する荷重を確実に鋼管矢板に伝える構造としなければならない.

・鋼管矢板と頂版との接合部付近の鋼管矢板管内には中詰めコンクリートを打設し補強するものとする.

・鋼管矢板井筒基礎の井筒部継手管内には，継手管内土砂を排除してモルタルを充填するものとする.

以上の内容を比較したものを**表-4.3.4** に示す.

表-4.3.4　設計基準類の比較（その１）

設計基準類		鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物（平成4年） 鋼製橋脚	鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物（平成 10 年） コンクリート充填鋼管構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル（平成 13 年） 鋼製地下連続壁を本体に利用する構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（平成 12 年） 鋼管杭，鋼管矢板井筒基礎
設計の基本	a)設計対象・範囲	本標準は，支間１５０ｍ以下の鋼鉄道橋の限界状態設計法に基づく設計に適用する。ただし，特別な検討により安全であることを確かめた場合には，本標準によらず，適切と考えられる方法を採用してよい．なお，本標準は鋼鉄道橋を対象としているが，橋梁以外の主として列車荷重を受ける鋼構造物にも準用されることを考慮している．	コンクリート充填鋼管構造物の鉄道構造物を，限界状態設計法に基づいて設計する場合には，一般に，本標準によるものとする。ただし，特別な検討により安全であることを確かめた場合には，本編によらず，適切と考えられる方法を採用してよい．	鉄道の開削トンネルを限界状態設計法に基づいて設計する場合には，一般に，本標準によるものとする．ただし，特別な検討により安全であることを確かめた場合には，本標準によらず適切と考えられる方法を採用してよい．	鉄道構造物の基礎を限界状態設計法に基づいて設計する場合には，一般に，本標準によるものとする．ただし，特別な検討により安全であることを確かめた場合には，本標準によらず適切と考えられる方法を採用してよい．
	b)設計供用期間	設計耐用期間は，構造物または部材がその使用にあたり，目的とする機能を十分に果たさなければならない設計上考慮する期間である．疲労設計においては，在来線 60 年，新幹線 70 年を考慮している．	構造物の設計耐用期間は，構造物に要求される使用期間，および環境条件などによる構造物の耐久性を考慮して定めることを原則とし，概ね 100 年を考えることとしている．	開削トンネルの設計耐用期間は，トンネルに要求される使用期間および環境条件等によるトンネルの耐久性を考慮して定めるものとする．開削トンネルを構成する構造要素の種別による設計耐用期間を総合的に勘案し，一般には概ね 100 年程度を考えることとする．	基礎の設計耐用期間は，上部工に準じて定めるものとする．この場合，基礎は，一般に地中または水中に設置されるため，維持管理における検査，補修，補強が困難な場合が多く，設計耐用期間中は原則としてメンテナンスフリーを目標とした設計が必要である．
	c)要求性能	構造物はその使用目的に適合し，安全でかつ経済的なものであるとともに環境との調和を考慮したものでなければならない．このため設計にあたっては，強度，変形，安定，耐久性，施工性，保守，美観，騒音，振動等について十分な検討を行うものとする．	鉄道構造物は，その目的に適合し，安全かつ経済的でなければならない．このためには，構造物または部材が施工中ならびに使用中に使用する荷重に対して適度な安全性を保ち，通常の使用時に列車が安全かつ快適に走行できるように設計しなければならない．また，施工が容易であること，設計耐用期間に応じた十分な耐久性を持つこと，維持管理が容易であること，環境に適合することにも留意しなければならない．	開削トンネルは，安全かつ経済的で，その目的に適合するよう設計を行うものとする．開削トンネルは，一般に，補修，補強，および改築が困難な場合が多いので，設計の段階において地盤条件，地下水の性状，使用材料および施工方法などについて十分な検討を行い，設計耐用期間中に起こり得る限界状態を的確に予測して，耐久的で維持管理が容易なトンネルの設計を行うことが重要である．	基礎は，設計耐用期間中を通して上部構造物を安全に支持するとともに，有害な変位を生じないように設計しなければならない．
限界状態	a)終局限界状態	設計においては，構造物に応じた考えられるすべての限界状態について安全性の照査を行うことを原則とする．照査する限界状態は，終局限界状態，使用限界状態，疲労限界状態の３種類とする． ・終局限界状態：構造物または部材が破損したり，転倒，座屈，大変形等を起こし，機能や安定を失う状態 ・使用限界状態：構造物または部材が過度のひび割れ，変位，変形，振動等を起こし，正常な使用ができなくなったり，耐久性を損なったりする状態 ・疲労限界状態：構造物または部材が変動荷重の繰返し作用により疲労損傷する状態		設計においては，構造物に応じた考えられるすべての限界状態について安全性の照査を行うことを原則とする．照査する限界状態は，終局限界状態，使用限界状態，疲労限界状態の３種類とする． ・終局限界状態：構造物または部材が破損したり，転倒，座屈，大変形等を起こし，機能や安定を失う状態 ・使用限界状態：構造物または部材が過度のひび割れ，変位，変形，振動等を起こし，正常な使用ができなくなったり，耐久性を損なったりする状態 ・疲労限界状態：構造物または部材が変動荷重の繰返し作用により疲労損傷する状態	基礎の設計においては，基礎またはその構成部材が設計耐用期間中に機能を保たさなくなり，所要の安全性，使用性，耐久性などを満足しなくなるすべての限界状態について検討することを原則とする．基礎の設計においては，次の限界状態を考慮するものとする． ・終局限界状態：設計耐用期間中に地震を除くごくまれに作用する荷重に対して，基礎が安定や機能を失うか，あるいは基礎の変位が降伏点を越える状態 ・地震時終局限界状態：設計耐用期間中に作用する大地震の影響により，基礎が壊滅的な損傷を生じ，安定や機能を失う状態 ・使用限界状態：設計耐用期間中にしばしば作用する荷重に対して，基礎が所要の使用性や耐久性を失うか，あるいは基礎の変位が弾性とみなされる限界を超える状態 ・長期使用限界状態：設計耐用期間中に常にまたは長期にわたって作用する荷重に対して，基礎が所要の信用性を失うか，あるいは耐久性を失う状態 ・地震時使用限界状態：設計耐用期間中に作用する中地震の影響により，基礎が使用性や耐久性を失うか，あるいは基礎の変位が降伏点を越える状態
	b)使用限界状態				
	c)疲労限界状態				
	d)修復限界状態	—		—	—

表-4.3.4　設計基準類の比較（その２）

設計基準類			鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物（平成4年） 鋼製橋脚	鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物（平成 10 年） コンクリート充填鋼管構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル（平成 13 年） 鋼製地下連続壁を本体に利用する構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（平成 12 年） 鋼管杭，鋼管矢板井筒基礎
照査方法	照査項目 （限界状態）	終局限界状態の照査	終局限界状態の照査は，設計断面耐力と設計断面力を構造物係数 γ_i を用いて比較する式（4.3.1）の照査式によるものとしている． $\gamma_i \dfrac{\gamma_a \cdot P}{P_u / \gamma_b} \leqq 1.0$　(4.3.1) P：作用軸方向力 P_u：断面耐力 γ_a：構造解析係数 γ_b：部材係数 γ_i：構造物係数	断面破壊の限界状態に対する安全性の検討は，設計断面耐力 R_d が設計断面力 S_d に対して，式（4.3.2）の条件を満たす方法により行うことを原則とする． $\gamma_i \cdot \dfrac{S_d}{R_d} \leqq 1.0$　(4.3.2) S_d：設計断面力 R_d：設計断面耐力 γ_i：構造物係数	断面破壊の限界状態に対する安全性の検討は，設計断面耐力 R_d が設計断面力 S_d に対して，式（4.3.2）の条件を満たす方法により行うことを原則とする． $\gamma_i \cdot \dfrac{S_d}{R_d} \leqq 1.0$　(4.3.2) S_d：設計断面力 R_d：設計断面耐力 γ_i：構造物係数	a)鉛直支持に対する検討 1)鋼管杭 杭頭における設計鉛直支持力が杭頭に作用する設計鉛直力に対して，式（4.3.3）の条件を満たすこと． $\gamma_i \cdot \dfrac{V_d}{R_{vd}} \leqq 1.0$　(4.3.3) V_d：杭頭に作用する設計鉛直力 R_{vd}：杭頭における設計鉛直支持力 γ_i：構造物係数 2)鋼管矢板井筒基礎 地震時終局限界状態を除く各限界状態に対する検討において，鋼管矢板の設計鉛直支持力が鋼管矢板井筒下端に発生する設計最大鉛直力に対して，式（4.3.4）の条件を満たすこと． $\gamma_i \cdot \dfrac{R_0}{R_{vd}} \leqq 1.0$　(4.3.4) R_0：鋼管矢板の設計最大鉛直地盤反力 R_{vd}：鋼管矢板の設計鉛直支持力 γ_i：構造物係数 b)引抜きに対する検討 1)鋼管杭 杭基礎の設計引抜き抵抗力が，杭頭に作用する設計引抜き力に対して，式(4.3.5)の条件を満たすこと． $\gamma_i \cdot \dfrac{V_{ud}}{R_{ud}} \leqq 1.0$　(4.3.5) V_{ud}：杭頭における設計引抜き力 R_{ud}：杭頭における設計引抜き抵抗力 γ_i：構造物係数 2)鋼管矢板井筒基礎 地震時終局限界状態を除く各限界状態に対する検討において，原則として鋼管矢板に設計引抜き力が生じないこと． c)変位に対する検討 杭基礎及び鋼管矢板井筒基礎の設計水平変位量が，杭基礎及び鋼管矢板井筒基礎の変位量の制限値に対して式（4.3.6）の条件を満たすこと． $\gamma_i \cdot \dfrac{\delta_d}{\delta_L} \leqq 1.0$　(4.3.6) δ_d：杭基礎及び鋼管矢板井筒基礎の設計水平変位量 δ_L：杭基礎及び鋼管矢板井筒基礎の水平変位量の制限値 γ_i：構造物係数 d)部材の検討 1)鋼管杭 杭体は，各限界状態に対する検討により求めた断面力に対して，安全性を確保するように設計しなければならない．照査方法については，「鋼・合成構造物」に準じる． 2)鋼管矢板井筒基礎 鋼管矢板井筒基礎を構成する部材のうち鋼管矢板については，各限界状態に対する検討において算定した軸方向応力度と仮締切り時に発生する残留応力度との合成応力度が制限値を超えないように設計しなければならない．鋼管矢板を除くその他の部材については，地震時使用限界状態を除く各限界状態に対する検討において，完成後に作用する外力による設計断面力が設計断面耐力を超えないように設計しなければならない．
		使用限界状態の照査	構造物または部材が過度の振動，変位，変形を起こし，正常な使用ができなくなったり耐久性を損なったりすることがないように，たわみの照査，変位の照査を行う．	構造物または部材が設計耐用期間中に十分な機能を保持できるようにするため，一般に，応力度，耐久性，変位・変形等に対する使用限界状態を設定し，適切な方法によって検討することを原則とする．	使用限界状態に関する検討は，応力度，ひび割れ等に対して行うものとし，地盤の状況に応じて，く体の安定に関する検討を行うものとする．	
		疲労限界状態の照査	疲労限界状態の照査は，疲労限の照査と，繰返し数の影響を考慮した疲労の照査からなり，疲労限の照査の結果，必要となったものについてのみ繰返し数の影響を考慮した疲労の照査を行う．	・設計断面力において，変動荷重の占める割合が大きく，かつ繰り返し回数が多い場合には，疲労に対する安全性の検討を行わなければならない． ・梁については，一般に，曲げおよびせん断に対して疲労の検討を行うこととしてよい． ・スラブについては，一般に曲げおよび押し抜きせん断に対して疲労の検討を行うこととしてよい． ・柱に対しては，一般に疲労の検討を省略してよい．ただし，曲げモーメントまたは軸方向引張力の影響が特に大きい場合には，梁に準じて疲労の検討を行うこととする．	・設計断面力において，変動荷重の占める割合が大きく，かつ繰り返し回数が多い場合には，疲労に対する安全性の検討を行うものとする． ・梁について疲労の検討を行う場合は，曲げおよびせん断に対して行うものとする． ・スラブについて疲労の検討を行う場合は，曲げおよび押し抜きせん断に対して行うものとする． ・柱については，疲労の検討を省略することができる．ただし，曲げモーメントまたは軸方向引張力の影響が特に大きい場合には，梁に準じて疲労の検討を行うものとする．	
		修復限界状態の照査	—	—	—	—

表-4.3.4　設計基準類の比較（その３）

設計基準類			鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物（平成4年） 鋼製橋脚	鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物（平成 10 年） コンクリート充填鋼管構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル（平成 13 年） 鋼製地下連続壁を本体に利用する構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（平成 12 年） 鋼管杭，鋼管矢板井筒基礎
作用と荷重	基本的考え方		構造物の設計には，施工中および設計耐用期間中に作用する荷重を，照査すべき限界状態と照査事項に応じて適切に組み合わせて用いなければならない．設計荷重は，永久荷重，変動荷重，偶発荷重およびその他の荷重からなるものとし，照査すべき限界状態に応じて組み合わせるものとする．なお，終局限界状態の照査においては一般に変動荷重は主たる変動荷重または従たる変動荷重として組み合わせることを原則とする．	構造物の設計には，施工中および設計耐用期間中に作用する永久荷重，変動荷重および偶発荷重を，限界状態と検討事項に応じて，適切な組み合わせのもとに考慮しなければならない．	設計荷重は，施工中および設計耐用期間中に作用する永久荷重，変動荷重，偶発荷重を，限界状態と検討事項に応じて組み合わせるものとする．	基礎の設計においては，施工中および設計耐用期間中に作用する永久荷重，変動荷重および偶発荷重を，限界状態と検討事項に応じて，適切な組み合わせのもとに考慮しなければならない．
	荷重作用の種類	a)死荷重	死荷重の特性値の算出に用いる材料の単位重量は，標準中に示されている値を標準とする．	・死荷重は，固定死荷重 D1 と付加死荷重 D2 に分けるものとする． ・死荷重の特性値は，標準中に示された材料の単位重量を用い，設計図書の寸法を用いて算出してよい．ただし，軌きょう重量等，実重量が明らかなものは，その値を用いることを原則とする．	開削トンネルに作用する鉛直土圧の特性値は，地表からトンネル上面までの深さの重量，地表面上の加重等を考慮して，各限界状態ごとに定めるものとする．死荷重は，固定死荷重と付加死荷重に分けるものとする． 列車荷重の特性値は，「コンクリート標準」によるものとする．	基礎の設計に用いる荷重の組合せは，各限界状態に対して，一般に次の事項を前提として定めてよい． (a)長期使用限界状態 静水圧および浮力の算定における水位は平水位とする． (b)使用限界状態 列車荷重により生じる変位・変形量の検討を行う場合，変動荷重には一般に，列車荷重および遠心荷重を考慮することとする．この場合，衝撃は必要に応じて考慮してよい．また，この場合の水圧および浮力の算定における水位は高水位または低水位とする． (c)終局限界状態 ・列車荷重を主たる変動荷重とする場合，衝撃および遠心荷重は同時に作用する主たる変動荷重とする． ・車両横荷重または車輪横圧荷重を主たる変動荷重とする場合，列車荷重は従たる変動荷重としてよい． ・制動荷重または始動荷重を主たる変動荷重とする場合，列車荷重は従たる変動荷重としてよい．この場合，衝撃および遠心荷重は考慮しなくてよい． ・列車荷重を主たる変動荷重とする場合，風荷重は従たる変動荷重としてよい． ・風荷重または流水圧を主たる変動荷重とする場合は，列車荷重は考慮しなくてよい． ・風荷重を主たる変動荷重とする場合，流水圧は従たる変動荷重としてよい． ・流水圧を主たる変動荷重とする場合，風荷重は従たる変動荷重としてよい．なお，水圧および浮力の算定における水位は高水位または低水位とする． (d)地震時使用限界状態，地震時終局限界状態 ・偶発荷重として地震の影響を考慮する場合，風荷重および流水圧は考慮しなくてよい． ・地震時使用限界状態に対する検討では，列車荷重は従たる変動荷重としてよい．この場合，衝撃および遠心荷重は適切に考慮するのがよい． ・地震時終局限界状態に対する検討では，列車荷重は従たる変動荷重としてよい．この場合，衝撃および遠心荷重は考慮しなくてよい． 設計地震動は，「鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計」による．設計地震動は，設計地点の地震活動度，断層情報，地盤条件，既往の地震観測結果などを考慮して定める L1 地震動および L2 地震動を設計耐震上の基盤面で設定し，その基本的な特性を弾性加速度応答スペクトルで表すものとする．
		b)活荷重	列車荷重の特性値については，当該線区に使用する列車または車両の実重量，積載重量，軸配置等を考慮して定めるのを原則とする．列車荷重については，構造物または部材に最大の影響が生じるように載荷するものとする．ただし，荷重を途中で切って２箇所以上載荷することは原則として行わない．	・列車荷重は機関車荷重，電車・内燃動車荷重および新幹線荷重からなるものとし，次により特性値および載荷方法を定めるものとする． (a)終局限界状態の検討に用いる列車荷重 (b)使用限界状態の検討に用いる列車荷重 (c)疲労限界状態の検討に用いる列車荷重 ・標準列車荷重の設定は，(a)から(c)に従い，列車荷重の特性値とする標準列車荷重を定めてよい．		
		c)風作用	風荷重は橋梁に対して一方向から水平かつ橋軸直角方向に作用するものとし，その特性値は次の各号によるのを原則とする． ・橋梁上に列車がない場合は，橋梁の垂直投射面に対して 3.0kN/㎡とする．ただし，トラスの床組におおわれない風下側主構の垂直投射面に対しては 2.0kN/㎡とする． ・橋梁上に列車がある場合は，橋梁および列車の垂直投射面に対して 1.5kN/㎡とする．ただし，上路プレートガーダーおよび合成桁以外の橋梁の場合は，橋梁および列車の垂直投射面に対して 1.2kN/㎡とする．また，トラスの床組におおわれない風下側主構の垂直投射面に対しては 0.8kN/㎡とする．なお，列車の垂直投射面は，在来鉄道ではレール面上 3.6 m，新幹線ではレール面上 4.0mの幅とし，列車と重なる桁の風上側および風下側の部材に対しては風荷重を考慮しない．	1)風荷重は，一般に，橋軸に対して直角かつ水平に作用するとしてよい． 2)風荷重を主たる変動荷重とする場合，構造物の垂直投射面に対する風荷重の単位面積当たりの特性値は，一般に 3.0kN/㎡としてよい．この場合，風上側の部材と重なる風下側の部材に対しては，一般に，風荷重を考慮しなくてよい． 3)列車荷重を主たる変動荷重とし風荷重を従たる変動荷重とする場合，構造物および列車の垂直投射面に対する風荷重の単位面積当たりの特性値は，一般に 1.5kN/㎡としてよい．この場合，風上側の部材と重なる列車の部分および列車と重なる風下側の部材に対しては，一般に，風荷重を考慮しなくてよい． 4)円形およびこれに準じる断面をもつ部材に対する風荷重の単位面積当たりの特性値は，2)または3)に定める値の 0.6 倍としてよい	—	
		d)地震作用	「鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計」による．（設計地震動は，設計地点の地震活動度，断層情報，地盤条件，既往の地震観測結果などを考慮して定める L1 地震動および L2 地震動を設計耐震上の基盤面で設定し，その基本的な特性を弾性加速度応答スペクトルで表すものとする）	「鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計」による．（設計地震動は，設計地点の地震活動度，断層情報，地盤条件，既往の地震観測結果などを考慮して定める L1 地震動および L2 地震動を設計耐震上の基盤面で設定し，その基本的な特性を弾性加速度応答スペクトルで表すものとする）	鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計」による．（設計地震動は，設計地点の地震活動度，断層情報，地盤条件，既往の地震観測結果などを考慮して定める L1 地震動および L2 地震動を設計耐震上の基盤面で設定し，その基本的な特性を弾性加速度応答スペクトルで表すものとする）	

表-4.3.4　設計基準類の比較（その４）

設計基準類			鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物（平成4年） 鋼製橋脚	鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物（平成 10 年） コンクリート充填鋼管構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル（平成 13 年） 鋼製地下連続壁を本体に利用する構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（平成 12 年） 鋼管杭，鋼管矢板井筒基礎
作用と荷重	荷重作用の種類	e)波浪等の作用	—	構造物に作用する水圧，流水力および波力は，構造物の種類に応じて定めるものとする．	開削トンネルに作用する揚圧力の特性値は，トンネル底面における間隙水圧に基づき，各限界状態ごとに定めるものとする．	
		f)地盤作用	—	構造物に作用する土圧として，一般に，静止土圧，主働土圧，受働土圧等を考慮するものとする．土圧の特性値は，構造物の種類とその剛性，土質の種類に応じて，限界状態ごとに定めるものとする．	開削トンネルに作用する鉛直土圧の特性値は，地表からトンネル上面までの深さ，埋戻し土の重量，地表面上の荷重等を考慮して，各限界状態ごとに定めるものとする．開削トンネルに作用する側圧の特性値は，開削トンネル周辺の地盤に応じて，各限界状態ごとに定めるものとする．	
		g)衝撃作用	衝撃の特性値は，列車荷重の特性値に，衝撃係数を乗じて得られる値を標準とする．	衝撃の特性値は，列車荷重の特性値に，設計衝撃係数を乗じた値とすることを原則とする．	列車荷重による衝撃の影響は，標準中に示す式より求まる衝撃係数を用いて算定するものとする．	
材料の設計用値	a)鋼材		・限界状態の照査には本標準に規定する材料強度の特性値を用いるのを原則とする． ・材料の設計強度は，材料強度の特性値を材料係数γ_mで除した値とする．	・コンクリートあるいは鋼材の品質は，設計上の品質に応じて，圧縮強度あるいは引張強度に加え，その他の強度特性，弾性係数その他の変形特性，熱特性，耐久性，水密性などの材料特性によって評価するものとする． ・材料強度の特性値f_kは，試験値のバラツキを考慮した上で，大部分の試験値がその値を下回らないことが保証された値とする． ・材料強度の規格値f_nはが特性値とは別に定められている場合には，材料強度の特性値f_kは，規格値f_nに適切な材料修正係数ρ_mを乗じた値とする． ・設計材料強度f_dは，材料強度の特性値f_kを材料係数γ_mで除した値とする．	鋼部材に用いる鋼材の設計用値は，「鋼・合成標準」による．	鋼材の強度等の特性値は次によるものとする． (a)鋼材のヤング係数は，JIS Z 2241「全属材料引張試験方法」により引張強度試験を行って応力～ひずみ曲線を求め，この結果に基づいて定めることを原則とする． (b)JIS 規格に適合する鋼材の引張降伏強度および引張強度の特性値は，それぞれ JIS 規格値の下限値としてよい． (c)鋼材の圧縮降伏強度の特性値 f_{yk} は，鋼材の引張降伏強度の特性値f_{yk}と同一の値としてよい．
	b)コンクリート		・コンクリートの材料は，「コンクリート標準」に定めるところによる．		コンクリート及び鉄筋の設計用値は，「コンクリート標準」による．ただし，地下連続壁を本体利用する場合のコンクリートの設計用値は，「基礎標準」によるものとする．	コンクリートの強度等の特性値は次によるものとする． (a)直接基礎のフーチング，杭基礎のフーチング，ケーソンく体（オープンケーソンの無筋コンクリート底スラブを除く），鋼管矢板井筒基礎の頂版および連壁井筒基礎の頂版に用いるコンクリートの強度等の特性値は「コンクリート標準」によるものとする． (b)場所打ち杭，深礎杭，連壁井筒基礎の壁体およびオープンケーソンの無筋コンクリートの底スラブに用いるコンクリートの強度等の特性値は施工状況に応じて定めるものとする．
構造設計方法	構造解析方法		・構造解析においては，構造に応じた適切な境界条件および構造モデルを選定するものとする． ・構造解析にあたっては，弾性微小変位解析を行うことを前提とする． ・電算機を使用して構造解析を行う場合には，計算に用いるプログラムの適合性について十分配慮するものとする．構造解析用のプログラムの使用にあたっては，構造モデル，計算目的，計算条件，計算手法などの適合性を十分検討する必要がある．代表的な計算手法には，骨組構造解析法として，平面および立体骨組構造解析法・任意形格子理論に基づく方法などがあり，薄板よりなる構造物の解析法として，有限要素法（ＦＥＭ）・有限帯板法（ＦＳＭ）・直交異方性板理論などがある．	・構造解析を行う場合，構造物の形状，支持条件，限界状態および検討事項に応じて，適切な構造解析モデルを仮定するものとする． ・構造物は，その形状等に応じて，梁，柱，スラブ，ラーメン，アーチおよびこれらの組合せからなる単純化した構造解析モデルに置換して解析してよい． ・構造解析を行う場合，荷重の分布状態を単純化したり，動的荷重を静的荷重に置き換えたりするなど，荷重についても実際のものと等価または安全側にモデル化してよい． ・構造物の断面に作用する曲げモーメント，軸方向力，せん断力，ねじりモーメントの各断面力は，限界状態ごとに適切な解析理論を用いて求めるものとする． ・不静定力の計算に用いる断面二次モーメントは，鉄筋および鉄骨両方の影響を考慮して部材の全断面を有効として求めてよい．	・構造解析は，構造物の形状，支持条件，限界状態等に応じて，横断方向について適切な構造解析モデルを設定して行うものとする．なお，縦断方向に支持地盤が変化したり局部荷重が分布したりする等の場合には，必要に応じて縦断方向についても構造解析を行うものとする． ・構造物は，その形状等に応じて，スラブ，梁，柱，壁，ラーメンおよびこれらの組合せからなる単純化した構造解析モデルに置換して析を行うことができる． ・構造解析に用いる荷重について，分布状態を単純化したり，動的荷重を静的荷重に置換えたりする場合は，実際のものと等価または安全側となるようにモデル化するものとする． ・構造物の断面に作用する曲げモーメント，軸方向力，せん断力，ねじりモーメントの各断面力は，各限界状態に応じた解析理論を用いて求めるものとする． ・線形解析に用いる断面剛性は，鋼材の影響を考慮して求めるものとする．ただし，鉄筋コンクリートの断面二次モーメントのように鋼材の影響が小さい場合には，鋼材の影響を無視して算定することができる． ・耐震の検討における構造解析は，「耐震標準」によるものとする．	・杭基礎の設計杭頭作用力，設計変位量および杭体の設計断面力の算定は，原則として杭，フーチング，地中梁等の基礎を構成する各部材を弾性体とし，杭体の節点間に地盤ばねを設けたラーメン構造モデルとした骨組解析により算定するものとする． ・鋼管矢板井筒基礎の設計断面力および設計変位量は，基礎本体の曲げ剛性を考慮し，基礎全面の設計水平地盤反力係数，基礎底面の設計鉛直地盤反力係数および設計せん断地盤反力係数を用いて，鋼管矢板井筒基礎を弾性床上の有限長梁として算定することを原則とする．
	部材・断面強度（座屈強度、疲労強度等を含む）					

表-4.3.4　設計基準類の比較（その５）

設計基準類		鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物（平成4年） 鋼製橋脚	鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物（平成 10 年） コンクリート充填鋼管構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル（平成 13 年） 鋼製地下連続壁を本体に利用する構造物	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（平成 12 年） 鋼管杭，鋼管矢板井筒基礎
構造物，部材の照査方法	終局限界状態の照査	終局限界状態の照査項目としては，以下のものがある． a）部材の終局限界状態の照査 ・軸方向力を受ける部材の照査 ・曲げモーメントを受ける部材の照査 ・軸方向力および曲げモーメントを受ける部材の照査 ・せん断力あるいはねじりモーメントを受ける部材の照査 ・曲げモーメントとせん断が同時に作用する部材の照査 ・二軸応力状態の照査 b）板要素の終局限界状態の照査 ・部材の軸方向に圧縮力を受ける板要素 ・部材の軸方向の圧縮力と曲げモーメントを受ける板要素 ・せん断力と曲げモーメントを受ける部材の腹板 c）連結部の終局限界状態の照査 ・溶接継手の照査 ・高力ボルト継手の照査 ・普通ボルト継手の照査 ・ピン継手の照査	終局限界状態の照査項目としては，以下のものがある． ・曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の検討 ・せん断力に対する安全性の検討 ・ねじりに対する安全性の検討 ・溶接継手の破壊に対する安全性の検討，高力ボルト継手の破壊に対する安全性の検討 使用限界状態の照査項目としては，以下のものがある． ・応力度の検討 ・耐久性に対する検討 ・変位・変形に対する検討 疲労限界状態の照査は，柱部材については，一般に省略してよいとしている．但し，変動荷重による曲げモーメントまたは軸方向引張力の影響が特に大きい場合には，疲労の検討を行うこととしている． また，橋脚及びラーメン構造においては，以下の項目に留意して設計することとしている． a)橋脚 ・橋脚の躯体頂面の寸法は，上部構造の種類，スパンおよび地震時の落橋防止等を考慮して定めるのがよい． ・桁座は，支承構造に応じて十分な補強を行わなければならない． ・躯体頂面には，排水をよくするため，適切に勾配をつけることとする．特に寒冷地では，この勾配を急にして排水を十分にする． ・橋脚に流水，流下土石，自動車等が衝突する恐れのある場合には，適切な保護工を設けることとする． ・橋脚の両端部には，ダイヤフラムを設けるのがよい． b)ラーメン構造物 ・柱両端および隅角部には，ダイヤフラムを設けるのがよい． ・固定支点のラーメンとして解析する場合には，フーチングの回転が無視できる程度にフーチングを大きくするか，十分に剛な地中梁を設けなければならない	鋼製地下連続壁の終局限界状態に関する検討は，以下の項目について行うものとする． a）鉛直方向の安全性の検討 1)曲げモーメントおよび軸方向力を受ける部材の照査 ・一体壁形式の場合 ・重ね壁形式の場合 ・単独壁形式の場合 2)せん断力を受ける部材の照査 ・一体壁形式の場合 ・重ね壁形式の場合 ・単独壁形式の場合 3)曲げモーメントおよび軸方向力とせん断力が同時に作用する部材の照査 b）水平方向の安全性の検討 1)曲げモーメントおよび軸方向力を受ける部材の照査 ・一体壁形式の場合 ・重ね壁形式の場合 ・単独壁形式の場合 2)せん断力を受ける部材の照査 ・一体壁形式の場合 ・重ね壁形式の場合 ・単独壁形式の場合 使用限界状態の照査項目としては，以下のものがある． ・応力度の検討 ・ひび割れの検討 また，鋼製地下連続壁の正常な使用が損なわれないように止水，腐食等について検討を行うものとする． さらに，鋼製地下連続壁の設計においては，以下の項目に留意するものとする． ・床版と鋼製地下連続壁との結合部は，作用する曲げモーメント，せん断力，軸力を円滑に伝達できる構造とするものとする． ・床版と鋼製地下連続壁・内壁との結合は，結合部に作用する断面力を円滑にかつ安全に伝える構造とするとともに，施工性についても十分に配慮するものとする．	鋼管杭の杭体の各限界状態に対する安全性の検討は，以下の項目について行うものとする． a）長期使用限界状態および使用限界状態 一般に省略してよい． b）終局限界状態 ・曲げモーメントおよび軸方向力を同時に受ける部材の照査 ・せん断力を受ける部材の照査 ・曲げモーメントとせん断力が同時に作用する部材の照査 c）地震時使用限界状態 一般に省略してよい． d）地震時終局限界状態 b）終局限界状態の設計に準じて行う． 鋼管矢板井筒基礎の部材の設計は以下の各項による． a）頂版 鋼管矢板井筒基礎の頂版は，頂版と橋脚の剛性および頂版と鋼管矢板の結合状態を考慮して設計するものとする． b）鋼管矢板と頂版の接合部 仮締切兼用方式鋼管矢板井筒基礎の鋼管矢板と頂版との接合部は，頂版に作用する荷重を確実に井筒本体へ伝える構造に設計するものとする． 鋼管矢板井筒基礎においては，以下の項目に留意して設計することとしている． ・鋼管矢板本管は，適切な寸法を選定するものとし，連結時や打設中に変形を生じるおそれがある場合には，補強を行うものとする．また，鋼管矢板本管の現場円周溶接は，打設時の応力および完成後の荷重に対して安全でなければならない． ・鋼管矢板継手管は，適切な寸法を選定するものとし，先端部は鋼管矢板の打設時に土砂等ができるだけ混入しない構造とする．また，仮締切り後，水中切断する鋼管矢板継手管はあらかじめそれらを見込んだ構造としておくものとする． ・鋼管矢板と頂版の接合部は，上部工から頂版に作用する荷重を確実に鋼管矢板に伝える構造としなければならない． ・鋼管矢板と頂版との接合部付近の鋼管矢板管内には中詰めコンクリートを打設し補強するものとする． ・鋼管矢板井筒基礎の井筒部継手管内には，継手管内土砂を排除してモルタルを充填するものとする．
	使用限界状態の照査	使用限界状態の照査においては，以下のようにたわみの照査，変位の照査を行う． ・たわみの照査 主桁，横桁のたわみおよび左右レール位置でのたわみ差の照査は，式(4.3.7)によるものとする． $\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \cdot \delta / \delta_u \leqq 1.0$　(4.3.7) δ：たわみ，δ_u：たわみの制限値 γ_a:構造解析係数，γ_b:部材係数，γ_i:構造物係数 ・変位の照査 列車を支持する構造物上のレールレベルでの水平方向の変位の照査は，式（4.3.8）によるものとする．ただし，バラスト軌道の場合は目違いの検討を行わなくてよい． $\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \cdot \delta_H / \delta_{HU} \leqq 1.0$　(4.3.8) δ_H：レールレベルでの変位量，δ_{HU}：レールレベルでの変位量の制限値 γ_a:構造解析係数，γ_b:部材係数，γ_i:構造物係数			
	疲労限界状態の照査	疲労限界状態の照査は，疲労限の照査と繰返し数の影響を考慮した疲労の照査からなり，疲労限の照査の結果，必要となったものについてのみ繰返し数の影響を考慮した疲労の照査を行う． $\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \cdot \Delta\sigma / \Delta\sigma_0 \leqq 1.0$　(4.3.9) $\Delta\sigma$：最大作用応力範囲，$\Delta\sigma_0$：疲労限としての応力範囲 γ_a:構造解析係数，γ_b:部材係数，γ_i:構造物係数			
	修復限界状態の照査	—	—	—	—

4.4　道路施設構造物分野の設計法の現状

4.4.1 対象構造物

道路施設構造物分野としては，以下の構造物を対象とした．

①道路橋基礎(鋼管杭，鋼管矢板基礎)

②道路橋鋼製橋脚

③シールドトンネル

④沈埋トンネル

4.4.2 設計の基本

(1)設計基準について

対象構造物の適用設計基準は以下のとおりである．

a)道路橋基礎および道路橋鋼製橋脚

道路橋示方書・下部構造編（H14年），鋼橋編（H14年），耐震設計編（H14年）

b)シールドトンネル

2006年制定トンネル標準示方書[シールド工法編]

c)沈埋トンネル

港湾の施設の技術上の基準を定める省令(平成19年)

港湾の施設に関する技術上の基準・同解説（平成19年）

沈埋トンネル技術マニュアル（平成14年8月（財）沿岸開発技術センター）

(2)設計供用期間

道路橋示方書では一定の知見が得られているものについては100 年を目安に規定.その他の基準は明確に規定されていない.

(3)要求性能

a) 道路橋基礎及び道路橋鋼製橋脚

道路橋においては，橋全体および下部構造に対して，**表-4.4.1**に示すような要求性能が規定されている[1)2)]．使用目的との適合性，構造物の安全性，耐久性，施工品質の確保，維持管理の容易さ，環境との調和，経済性を考慮する．道路橋基礎及び道路橋鋼製橋脚等の下部構造は，上部構造からの荷重ならびに下部構造自体に作用する荷重を安全に地盤に伝えることが要求される．

表-4.4.1　下部構造の要求性能

要求性能	橋全体に対する内容	下部構造に対する内容
使用目的との適合性	橋が計画どおりに交通に利用できること。通行者が安全かつ快適に使用できる供用性などを含む。	橋が計画どおりに交通に利用できること。通行者が安全かつ快適に使用できる供用性などを含む。
構造物の安全性	死荷重、活荷重、地震の影響等の荷重に対し、橋が適切な安全性を有する。	上部構造および下部構造に作用する荷重に対し、下部構造は適切な安全性を確保する。
耐久性	橋に経年的な劣化が生じたとしても使用目的との適合性や構造物の安定性が大きく低下することなく、所要の機能が確保できる。	長期にわたる使用目的との適合性および構造物の安全性を確保するため経年変化に対して十分な耐久性の確保に配慮する。
施工品質の確保	使用目的との適合性や構造物の安全性を確保するために確実な施工が行なえる性能を有することであり、施工中の安全性も有していなければならない。	上記の検討を行う際に常に念頭におき、いくつかの検討結果を比較する等、最適なものとなるように配慮するものとする。
維持管理の容易さ	使用中の日常点検、材料の調査、補修作業等が容易に行なえること	
環境との調和	橋が建設地点周辺の社会的環境や自然環境に及ぼす影響を軽減あるいは調和させること、及び周辺環境にふさわしい景観性を有すること等である。	
経済性	ライフサイクルコストを最小化する観点から、単に建設費を最小にするのではなく、点検修理や補修等の維持管理を含めた費用がより小さくなるように心がける。	

b) シールドトンネル

使用目的に対して，設計供用期間において安全性，使用性，耐久性等を満足することを基本と

している[3].

c) 沈埋トンネル

沈埋トンネルの要求性能は，省令により，使用性，供用性，修復性について表-4.4.2のように規定されている[4].

表-4.4.2　沈埋トンネルの要求性能[4]

【省令】(道路の要求性能)

第三十六条　道路の要求性能は、次の各号に定めるものとする。

一　港湾における交通の特性を考慮した上で港湾内及び港湾とその背後地との間における車両等の安全かつ円滑な交通を確保できるよう、国土交通大臣が定める要件　をみたしていること。

二　載荷重等の作用による損傷等が、当該道路の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと。

２　前項に規定するもののほか、トンネルの構造を有する道路の要求性能にあっては、次の各号に定めるものとする。

自重、土圧、水圧、レベル一地震動等の作用による損傷等が、当該道路の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと。

二　レベル二地震動、火災による火熱等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該道路の機能の回復に影響を及ぼさないこと。

4.4.3　限界状態

(1) 道路橋基礎及び道路橋鋼製橋脚

常時及び暴風時における限界状態は，橋の力学特性が弾性域を超えないこととされている．地震時においては，表-4.4.3 のように橋の耐震性能１，２，３を設定し，それぞれに対して以下のように橋の限界状態を規定している[5].

耐震性能１に対する橋の限界状態は，地震によって橋全体系としての力学特性が弾性域を超えない範囲内で適切に定めるものとする．

耐震性能２に対する橋の限界状態は，塑性化を考慮した部材にのみ塑性変形が生じ，その塑性変形が当該部材の修復が容易に行ない得る範囲内で適切に定めるものとする．例えば，耐震性能２の橋において橋脚に塑性化を考慮する場合，表-4.4.4 のように橋脚の限界状態は損傷の修復を容易に行ない得る限界の状態とする．

耐震性能３に対する橋の限界状態は，塑性化を考慮した部材にのみ塑性変形が生じ，その塑性変形が当該部材の保有する塑性変形性能を超えない範囲内で適切に定めるものとする．

表-4.4.3　橋の耐震性能[5]

橋の耐震性能		耐震設計上の安全性	耐震設計上の供用性	耐震設計上の修復性	
				短期的修復性	長期的修復性
耐震性能1	地震によって橋としての健全性を損なわない性能	落橋に対する安全性を確保する	地震前と同じ橋としての機能を確保する	機能回復のための修復を必要としない	軽微な修復でよい
耐震性能2	地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能	落橋に対する安全性を確保する	地震後橋としての機能を速やかに回復できる	機能回復のための修復が応急修復で対応できる	比較的容易に恒久修復を行うことが可能である
耐震性能3	地震による損傷が橋として致命的とならない性能	落橋に対する安全性を確保する	―	―	―

表-4.4.4　一般的な橋に対する塑性化を考慮する部材の組合せの例と各部材の限界状態（耐震性能２）[5]

塑性化を考慮する部材 / 各部材の限界状態	橋脚	橋脚と上部構造	基礎	免震支承と橋脚
橋脚	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態	損傷の修復容易に行い得る限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	副次的な塑性化にとどまる限界の状態
基礎	副次的な塑性化にとどまる限界の状態	副次的な塑性化にとどまる限界の状態	復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	副次的な塑性化にとどまる限界の状態

(2) シールドトンネル

シールドトンネルの限界状態は，原則として終局限界状態，使用限界状態に区分する．終局限界状態として，「断面破壊」「構造破壊」「変形」「安定」について規定されている（表-4.4.5）．使用限界状態として，「ひび割れ」「変形」「目開き量」「損傷」について規定されている（表-4.4.6）．

表-4.4.5　終局限界状態の例 [3)]

断面破壊の終局限界状態	セグメント本体や継手の断面が破壊する状態
構造破壊の終局限界状態	断面破壊が生じることでトンネルが崩壊に至る状態
変形の終局限界状態	構造物または部材の変形により耐荷能力を失う状態
安定の終局限界状態	トンネルが浮き上がり等により安定を失う状態

表-4.4.6　使用限界状態の例 [3)]

ひび割れの使用限界状態	鉄筋の腐食またはひび割れ部からの漏水によってセグメントの耐久性、水密性が失われる状態
変形の使用限界状態	過大な変形によりトンネルを使用するために必要な建築限界等の必要内空確保が損なわれる状態
目開き量の使用限界状態	トンネルの止水性を確保するために設計で考慮したセグメント継手部の目開き量が大きくなり、水密性、継手部の耐久性が失われる状態
損傷の使用限界状態	部材に損傷を生じ、そのまま使用することが不適当となる状態

(3) 沈埋トンネル

沈埋トンネルに関しては，告示により，表-4.4.7(a) に示すように要求性能に対応してそれぞれ性能規定されている．沈埋トンネルの性能規定は，水底トンネルに共通する性能規定に準じるほか、沈埋トンネルの性能規定及び設計状態(偶発状態を除く)に関する設定は、表-4.4.7(b)のとおりである。

表-4.4.7(a)　沈埋トンネルの性能規定 [4)]

【告示】(水底トンネルの性能規定)

第七十七条　水底トンネルの性能規定は、次の各号に定めるものとする。

一　船舶の投錨及び走錨、波浪及び水の流れによる洗掘等に対して、部材の健全性及び構造の安定性を確保できるよう、適切な材料によって所定の厚さで被覆されていること。
二　安全かつ円滑に利用できるよう、所要の管理設備を有すること。
三　主たる作用がレベル二地震動及び火災による火熱である偶発状態に対して、作用による損傷の程度が限界値以下であること。
2　前項に規定するもののほか、沈埋トンネルの性能規定にあっては、次の各号に定めるものとする。
一　主たる作用が自重である永続状態に対して、基礎地盤の支持力不足による破壊の生じる危険性が限界値以下であること。
二　主たる作用が土圧である永続状態に対して、部材の健全性を損なう危険性が限界値以下であること。
三　主たる作用が水圧である変動状態に対して、沈埋函、換気所及び立坑の浮き上がりの生じる危険性が限界値以下であること。
四　主たる作用がレベル一地震動である変動状態に対して、部材の健全性及び沈埋函、換気所、立坑、継手部等の安定性を損なう危険性が限界値以下であること。

表-4.4.7(b)　沈埋トンネルの性能規定及び設計状態（偶発状態を除く）に関する設定 [6)]

要求性能	設計状態			照査項目	標準的な限界値の指標
	状態	主たる作用	従たる作用		
使用性	永続	自重	水圧，土圧，載荷重	基礎地盤の支持力	支持力に関する限界値
		土圧	自重，水圧，載荷重	部材の健全性	－
	変動	水圧	自重，土圧，載荷重	沈埋函，換気所，立坑の浮き上がり	－
		L1地震動	自重，土圧，水圧，載荷重	沈埋函，換気所，立坑の安定性	－
				部材の健全性	－
				継手部の安定性	－

4.4.4　照査方法

(1) 道路橋基礎（鋼管杭，鋼管矢板基礎）及び道路橋鋼製橋脚

常時，暴風時及びレベル１地震時は，基礎，橋脚の各部材の力学特性が弾性域を超えないこととし，許容応力度設計法が基本である．

レベル２地震時においては，道路橋基礎（鋼管杭，鋼管矢板基礎）は静的照査法（地震時保有水平耐力法）による耐震性能の照査が規定されている．また，レベル２地震時においては，道路橋鋼製橋脚の場合，鋼橋編の規定に基づき動的照査法による耐震性能の照査を原則としている[7]．

(2) シールドトンネル

常時及びレベル１地震時は許容応力度設計法又は限界状態設計法で，レベル2 地震時は限界状態設計法において照査する．照査方法は，部分安全係数法による．

$$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1 \tag{4.4.1}$$

ここで，

S_d ：設計断面力（$= \sum \gamma_a S(F_d)$　）

R_d ：設計断面耐力　（$= R(f_d)/\gamma_b$）

F_d ：設計荷重（$= \gamma_f F_k$），f_d ：設計強度（$= f_k/\gamma_m$）

安全係数は，以下の５種類とする．

γ_a ：構造解析係数（第 220 条），γ_b ：部材係数（第 218 条），γ_f ：荷重係数（第 219 条），

γ_m ：材料係数(第 217 条)，γ_i ：構造物係数（第 221 条）

なお，荷重及び材料強度の特性値は，規格値に修正係数を掛けて算出する．

F_k ：荷重の特性値（$= \rho_f F_n$），f_k ：材料強度の特性値（$= \rho_m f_n$）

F_n ：荷重の規格値または公称値，f_n ：材料強度の規格値

ρ_f ：荷重修正係数（第215条），ρ_m ：材料修正係数（第208条）

(3) 沈埋トンネル

沈埋トンネル技術マニュアル[6]（平成14年8月（財）沿岸開発技術センター）によれば，限界状態設計法による照査体系において，終局限界状態は安全性の照査に，使用限界状態は使用性の照査に合致する．照査方法は，部分安全係数法によることを標準としている．

$$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1 \tag{4.4.2}$$

ここで，

S_d ：照査用応答値（$= S \cdot \gamma_a$）

S ：応答値（項目に対応して，荷重作用による応答を表す諸量）

R_d ：照査用限界値（$= R/\gamma_b$）

R ：限界値（照査項目に対して，目標性能を満足するために必要とする諸量）

γ_a ：構造解析係数，γ_b ：部材係数，γ_i ：構造物係数

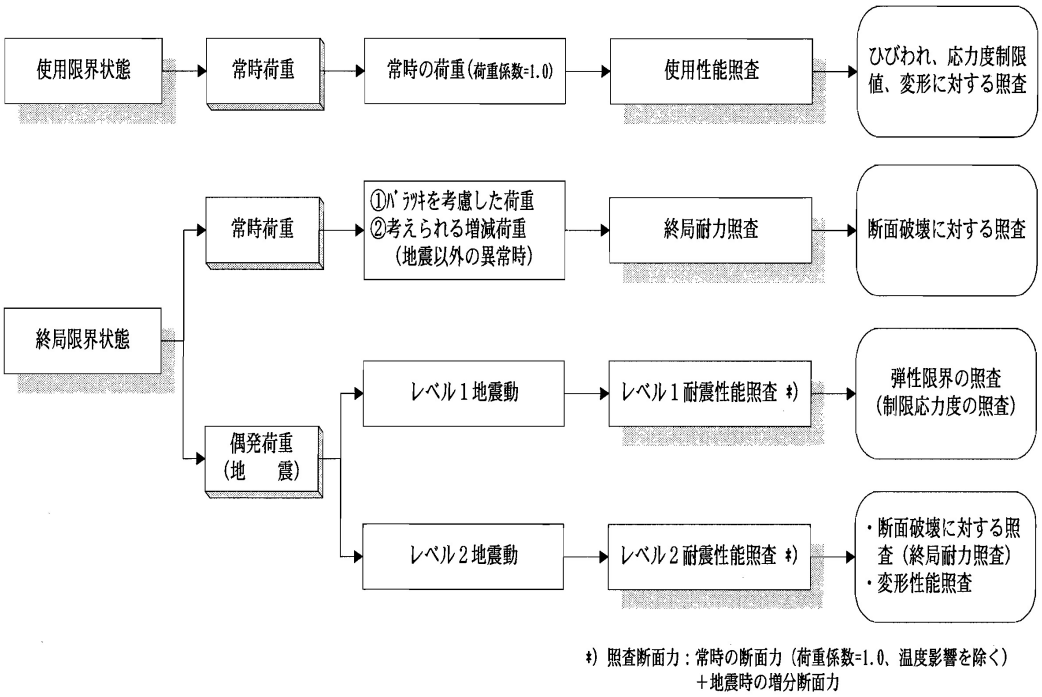


図-4.4.1 限界状態設計法による照査体系 [6)]

4.4.5 作用と荷重

(1) 道路橋基礎(鋼管杭，鋼管矢板基礎）及び道路橋鋼製橋脚

橋の架橋地点や構造等によって，供用期間中に考えられる荷重の組合せを適宜選定する．**表-4.4.8(a)**に規定する荷重の組合せは，同時に作用する可能性が高い荷重の組合せのうち，下部構造に不利な影響を与える組合せを示したものであり，設計にあたっては**表-4.4.8(a)**に示した組合せのうち，最も不利となる条件を考慮する．考慮する荷重の荷重の組合せは，**表-4.4.8(b)**に示すものが一般的と考えてよい（常時，暴風時，地震時）[2)]．地震作用は橋の供用中に発生する確率が高い地震動（レベル１）と供用中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動（レベル２）の２段階の地震動を考慮する [5)]．

表-4.4.8(a)　荷重の組合せ [2)]

荷重の組合せ
1.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)
2.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋温度変化の影響(T)
3.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋風荷重(W)
4.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋温度変化の影響(T)＋風荷重(W)
5.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋制動荷重(BK)
6.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋衝突荷重(CO)
7.活荷重及び衝撃以外の主荷重＋地震の影響(EQ)
8.施工時荷重

表-4.4.8(b)　下部構造の荷重の組合せ [2)]

荷重状態	橋脚の設計	橋台の設計
常時	①死荷重＋活荷重 ②死荷重＋温度変化の影響 ③死荷重+活荷重+温度変化の影響	①死荷重＋活荷重＋土圧 ②死荷重＋土圧
地震時	④死荷重＋地震の影響	③死荷重＋土圧＋地震の影響
暴風時	⑤死荷重＋風荷重	—

(2) シールドトンネル

シールドトンネルの覆工の設計荷重は，検討すべき限界状態に対して，それぞれ定めなければならない．終局状態の検討に用いる荷重の特性値は，トンネル施工中および設計耐用期間中に生じる最大荷重の期待値とする．使用限界状態の検討に用いる荷重の特性値は，トンネルの施工中および設計耐用期間中に比較的しばしば生じる大きさのものとして定める．

荷重係数の目安として，各限界状態に対して，**表-4.4.9**を与えている．

表-4.4.9　荷重係数の目安 [3)]

限界状態	土圧		側方土圧係数	水圧	地盤反力係数	自重	上載荷重	その他
	緩み土圧	全土被り圧						
終局限界状態	1.0～1.3 注)	1.05	0.8～1.0	0.9～1.0	0.9～1.0	1.0～1.1	1.0～1.3	1.0～1.3
使用限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

注）鉛直土圧の下限値を採用する場合は，1.0 を用いてよい．

(3) 沈埋トンネル

沈埋トンネルの構造物の性能照査に用いる荷重等の作用は，照査すべき構造性能に応じて設定する．沈埋トンネルの構造物の性能を照査するための地震動以外の荷重等の作用は，設計供用期間中に作用するものを適切に組み合わせて設定する．トンネル横断方向の地震動以外の荷重等の作用は，**図－4.4.2**を標準とする．トンネル本体製作から完成までの施工時の荷重等の作用は，適切に組合せて設定する．

荷重作用は，構造物の置かれる状態に応じて適切な荷重係数で組合せる．設計者は目標性能および構造物のおかれる状態を考慮して荷重係数を適切に設定しなければならない（**表-4.4.10**）．

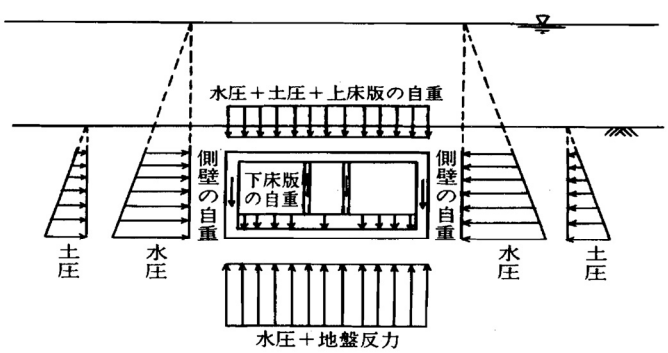


図-4.4.2　トンネル横断方向の荷重作用分布 [6)]

表-4.4.10　荷重の組合せと荷重係数 [6)]

荷重＼分類				使用限界状態		終局限界状態			
						地震動 以外		地 震 動	
				ｱﾌﾟﾛｰﾁ部	沈埋部	ｱﾌﾟﾛｰﾁ部	沈埋部	レベル1地震動	レベル2地震動
永久荷重	自重１（本体の重量）			1.0		0.9～1.1		1.0	
	自重２（舗装、路床ﾊﾞﾗｽﾄなど）			1.0		1.0 ～1.2	0.8 ～1.2	1.0	
	上載土圧（鉛直土圧）			1.0		0.9 ～1.1		1.0	
	側方土圧（水平土圧）			0.7 ～1.0* 1)	1.0	0.6 ～1.2	0.8 ～1.2	1.0	
	水圧* 3)	陸上部	異常時 G.L.	－		1.0		－	
			異常時以外 H.W.L.	1.0		0.9 ～1.1		1.0	
		海上部	異常時 H.H.W.L.	－		－	1.0	－	
			異常時以外 H.W.L.	1.0		－	1.1	1.0	
地盤反力				1.0		1.0			
温度の影響				1.0 *2)	1.0	1.0 *2)	1.0	－	

*1）仮設土留めが残置される場合があることを考慮し，荷重係数に範囲を設けた．
*2）U型擁壁の場合，温度影響を考慮しない．
*3）終局限界状態（地震以外）では，各部材で断面力が厳しくなる水圧荷重を取扱う．
なお，異常時の構造物係数γ_iは1.0とする．

4.4.6　材料の設計用値

(1)　鋼材

構造用鋼材は，JIS 規格に適合するものを標準とする．しかし，これ以外の鋼材であっても適切な鋼材であれば使用することができる．

許容応力度設計に用いる鋼材の材料強度の許容値は，各基準に規定される値とする．

限界状態設計に用いる鋼材の材料強度の規格値 f_n は，JIS の下限値（保証降伏点）をとる．設計強度 f_d は材料強度の特性値 f_k を材料係数 γ_m で除した値とする．

(2)　コンクリート

コンクリート標準示方書の規定に準拠する．

4.4.7　構造設計方法

(1)　道路橋基礎(鋼管杭，鋼管矢板基礎)

a）鋼管杭基礎

ⅰ）常時，暴風時，レベル１地震時

杭基礎における杭反力及び変位は，フーチングを剛体，杭及び地盤を杭の軸方向バネ定数及び杭の直角方向バネ定数で評価した線形弾性体として計算する（常時，暴風時，レベル１地震時に対する照査では杭に発生する応力度を許容応力度以下に制限していることから杭は弾性体として扱ってよい．地盤反力度についても許容変位以下の場合には見かけ上線形と考えても実用上支障はない）．具体的には杭が弾性床上に支持された梁とするラーメンモデルと，杭頭部のバネマトリクスを介して基礎全体の変位を各作用力に釣り合わせた式を解く変位法を記載[2)]．

ⅱ）レベル２地震時

杭基礎は，**図-4.4.3**に示すように，フーチングを剛体とし，杭頭がフーチングに剛結されたラーメン構造としてモデル化する．杭の軸方向の抵抗特性，杭周辺地盤及びフーチング前面地盤の水平抵抗特性は，バイリニア型とする．杭の曲げモーメント－曲率関係は，鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭はバイリニア型としてよい．

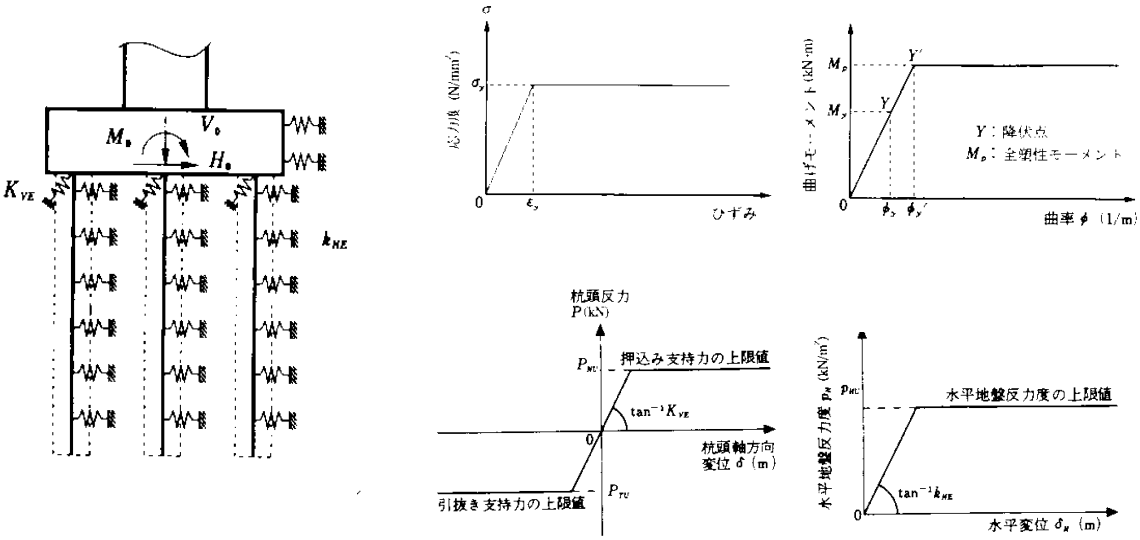


図-4.4.3　鋼管杭基礎の構造計算（レベル２地震時）[2)]

b）鋼管矢板基礎

鋼管矢板基礎は，隣接する鋼管矢板が継手によって互いに連結閉合されており，基礎に作用する外力に対して全体が一体となって挙動する．

ⅰ）常時，暴風時，レベル１地震時

鋼管矢板基礎の断面力，変位及び地盤反力度は，図-4.4.4に示すように鋼管矢板基礎を１本の柱状体基礎とし弾性床上の有限長ばりとして求めてよい．基礎全体の曲げ剛性は，継手部における鋼管矢板相互のせん断ずれ変形を考慮して算定する．ただし，せん断ずれ変形が大きくなる場合には，これを考慮した別の解析法によるものとする．

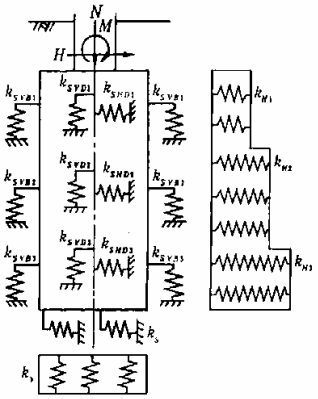


図-4.4.4　鋼管矢板基礎の計算モデル[2)]

ⅱ）レベル２地震時

図-4.4.5に示すように継手のせん断ずれ変形および地盤抵抗の非線形性を考慮し，鋼管矢板の降伏以降の非線形性を無視した仮想井筒ばりにより，基礎に生じる断面力，地盤反力度及び変位を算出する．

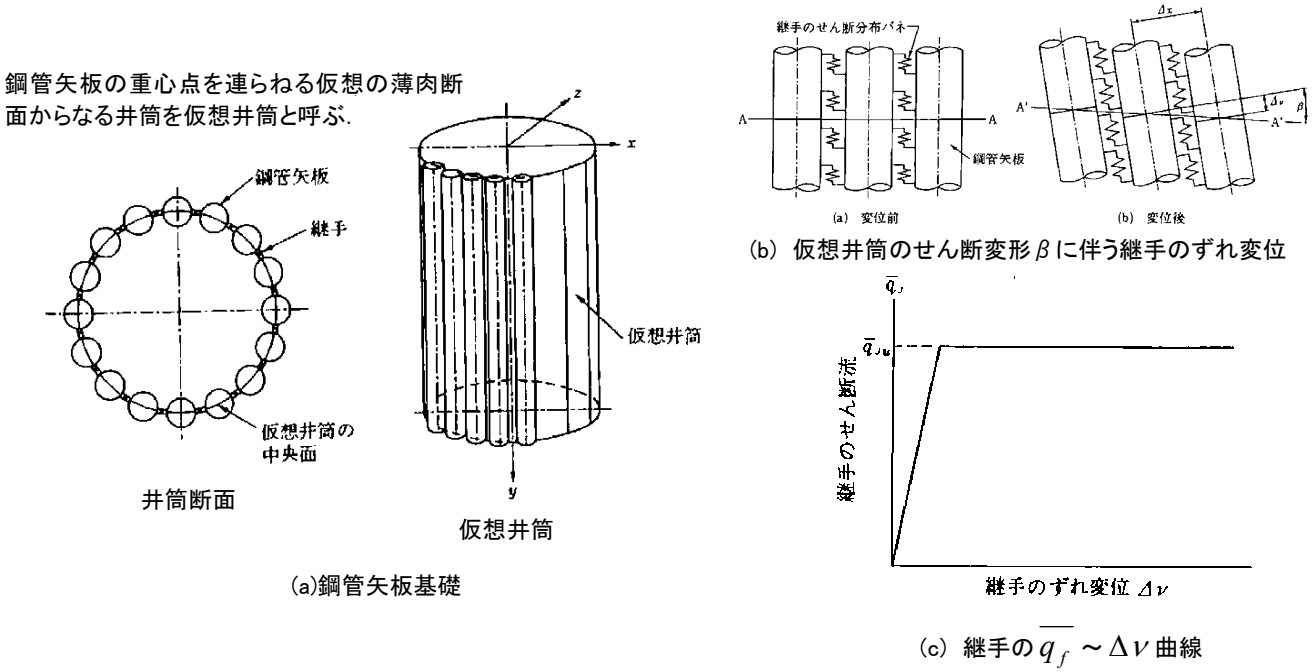


図-4.4.5　鋼管矢板基礎の構造計算（レベル２地震時）[2)]

(2) 道路橋鋼製橋脚

常時，暴風時に対しては，はり理論等による線形構造解析により鋼製橋脚の応答値（断面力，変位など）を算出する．地震時に対しては，橋の要求性能に対応した耐震性能レベルを確保することとし，解析方法として非線形履歴モデルを用いた時刻歴応答解析を用いるのがよい．

(3) シールドトンネル

セグメント主断面及び継手の剛性低下の影響を評価して，各部の応答値を算出できる解析手法を適用するとされている[3)]．具体的には，はりーばねモデルによる計算法が有効である．地震時の検討においては，地盤の振動解析方法との整合性や周辺地盤とトンネル構造物の相互作用を考慮した適切な方法で行うものとする．地震時の部材に対する非線形特性はトリリニア型で評価し，耐震設

計は応答変位法に基いて構造解析を行うのが一般的である．

(4) 沈埋トンネル

軸直角方向においては，沈埋トンネル本体をラーメン構造として扱い，軸方向においては，地盤をばねとした弾性床上のはりと考えて検討することができる．

4.4.8 構造物，部材の照査方法

(1) 道路橋基礎(鋼管杭，鋼管矢板基礎)

a) 鋼管杭基礎

ⅰ)常時，暴風時及びレベル１地震時に対する鋼管杭基礎の照査は，次によるものとする．

- 各杭頭部の軸方向力は，杭の許容支持力以下とする．
- 杭基礎の変位は，許容変位以下とする．
- 杭基礎の各部材に生じる応力度は許容応力度以下とする．

ⅱ)レベル２地震時に対する照査は，地震時保有水平耐力法による．橋脚基部の荷重（橋脚に塑性化が生じる場合は橋脚の終局水平耐力相当，橋脚が弾性域の場合は橋脚基部に生じる断面力）が作用したときの橋脚基礎の応答値（断面力，変位など）を求め，基礎が降伏に達しないことを照査する．ただし，基礎の塑性化を考慮する場合には，基礎の応答塑性率及び応答変位がそれぞれ許容塑性率及び許容変位以下であることを照査する．なお，基礎の降伏とは，部材レベルの降伏を意味するのでなく,杭体の降伏あるいは杭頭反力が上限値に達したことにより上部構造の慣性力作用位置で水平変位が急増し始める時をさす．

b) 鋼管矢板基礎

ⅰ)常時，暴風時及びレベル１地震時に対する鋼管矢板基礎の照査は，次によるものとする．

- 鋼管矢板基礎底面における鋼管矢板の反力は，鋼管矢板の許容支持力以下とする．
- 鋼管矢板基礎の変位は，許容変位以下とする．
- 鋼管矢板基礎の各部材に生じる応力度は許容応力度以下とする．

ⅱ)レベル２地震時に対する鋼管矢板基礎の照査は，地震時保有水平耐力法による．鋼管杭基礎と同様に基礎が降伏に達しないことを照査するのを原則とする．ただし，基礎の塑性化を考慮する場合には,基礎の応答塑性率及び応答変位がそれぞれ許容塑性率及び許容変位以下であることを照査する．

なお，鋼管杭，鋼管矢板基礎ともに橋脚基礎に主たる塑性化が生じることを考慮する場合には，主たる塑性化が橋脚基礎にのみ生じるようにするために基礎の降伏耐力が橋脚の終局水平耐力あるいは橋脚躯体基部に生じる断面力を上回らないことを確認するものとする．

(2) 道路橋鋼製橋脚

ⅰ)常時，暴風時に対しては，はり理論等による線形構造解析により算出される断面に生じる応力度が許容応力度以下にあることを照査する．

ⅱ) 地震時の耐震性能の照査は，以下のように動的照査法により行なう．

・耐震性能１の照査は，動的解析により算出される断面力を用いて耐震設計編，鋼橋編の規定に基づいて行なうものとする．

・耐震性能２の照査は，動的解析により算出される鋼製橋脚の最大応答値が許容値以下となるとともに,動的解析により算出される上部構造の慣性力の作用位置における最大応答変位を用いて算出する残留変位が許容残留変位以下となるように行なうものとする．

・耐震性能３の照査は，動的解析により算出される鋼製橋脚の最大応答値が許容値以下となる

ように行なうものとする.

なお，動的照査法によって耐震性能を照査した橋に対して，橋脚の地震時保有水平耐力が次式を満足しているかどうかを照査するのがよい.

$$P_a \geq 0.4 c_z W \tag{4.4.3}$$

ここで，

P_a ：橋脚の地震時保有水平耐力で，鋼製橋脚に対しては非線形履歴モデルから求まる最大水平力，c_z ：地域別補正係数，W ：地震時保有水平耐力法に用いる等価重量

(3) シールドトンネル

a)終局限界状態の照査

①シールドトンネルが,所要の安全性を設計耐用期間にわたり保持することを確認しなければならない.

②シールドトンネルの安全性の照査は，設計荷重のもとで，すべての構成部材が断面破壊の終局限界状態に至らないこと,ならびに安定の終局限界状態に至らないことを確認することにより行うことを原則とする.

③断面破壊の終局限界状態に対する検討は,設計断面力Sdの設計断面耐力Rdに対する比に構造物係数γｉ を乗じた値が，1.0以下であることを確かめることにより行うものとする.

④安定の終局限界状態に対する検討は,シールドトンネルが安定性を失わないことを確認することにより行うものとする.

表-4.4.11　終局限界状態の主な照査項目と限界値[3)]

部位	照査項目	限界値
主断面	曲げモーメント，軸力	曲げ耐力，軸方向耐力
	せん断力	せん断耐力
継手部	曲げモーメント，軸力	曲げ耐力，軸方向耐力
	せん断力	せん断耐力

b)使用限界状態の照査

①覆工が，所要の使用性を設計耐用期間にわたり保持することを照査しなければならない.

②使用性の照査は，設計荷重のもとで，覆工が使用限界状態に至らないことを確認することにより行うことを原則とする.

③一般的な次の項目について使用限界状態を設定し,適切な方法によって検討しなければならない.

1）鉄鋼製セグメントの照査項目（合成セグメントを含む）

・鉄鋼製セグメント主断面の応力度，変形量

・継手部の応力度，変形量

・スキンプレートの応力度，縦リブの応力度

④その他,必要に応じて所要の使用限界状態を設定し,適切な方法によって検討を行うものとする.

(4) 沈埋トンネル

港湾の道路用の沈埋トンネルの性能照査に当たっては，沈埋トンネル技術マニュアル[6)]を参考にすることができる.

（田中、土橋、長山、新美、松田）

参考文献

1)　（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編，平成14年3月
2)　（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編，平成14年3月
3)　（社）土木学会：2006年制定トンネル標準示方書シールド工法・同解説，平成18年7月
4)　（社）日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成19年9月
5)　（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説　Ⅴ耐震設計編，平成14年3月
6)　（財）沿岸技術研究センター：沿岸開発技術ライブラリーNo.10 沈埋トンネル技術マニュアル（改訂版），平成14年8月
7)　（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編，平成14年3月

表-4.4.12 道路施設／基礎分野（鋼管杭・鋼管矢板）

<table>
<tr><td colspan="2">設計基準類</td><td colspan="2">道路橋示方書・下部構造編（H14年）、耐震設計編（H14年）　鋼管杭・鋼管矢板基礎</td></tr>
<tr><td rowspan="3">設計の基本</td><td>a）設計対象・範囲</td><td colspan="2">道路橋示方書は支間長が200m以下の橋の設計、施工に適用し、下部構造編は、主として下部構造に適用する。設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性を考慮し、理論的な妥当性を有する手法、実験などにより検証がなされた手法等適切な知見に基づいて行う（基本的に従来の仕様規定型から性能規定型へ変更されているが、必ずしも判断基準が定量的に示された体系とはなっておらず、要求事項と要求事項を満足するための規定とを併記）。
下部構造編では基礎形式として直接基礎、ケーソン基礎、杭基礎、鋼管矢板基礎、地中連続壁基礎に大別されており、以下では、このうち鋼管杭基礎、鋼管矢板基礎に関する記述を抜粋する。</td></tr>
<tr><td>b）設計供用期間</td><td colspan="2">改訂にあたって目標期間として100年を念頭に置くべきではないかとの議論もなされたが、既存構造物に支障が生じていないことや十分なデータの蓄積がないことから多くの規定は従来からの記述を踏襲。ただし、新たに規定された耐久性に関する事項について、一定の知見が得られているものを対象に目安として100年を設定。特に下部構造編においては供用期間の明示はなし（鋼管に関しては従来規定どおり腐食代を考慮）</td></tr>
<tr><td>c）要求性能</td><td colspan="2">下部構造は、上部構造からの荷重ならびに下部構造自体に作用する荷重を安全に地盤に伝えるように、また上部構造より与えられた設計条件を満足するように設計しなければならない。下部構造全体の安定性および部材の安全性を照査する。また、耐久性の確保についても検討する。
「使用目的との適合性」：通行者が安全かつ快適に橋を使用できるよう上部構造を確実に支持し、橋の供用性を確保する。
「構造物の安全性」上部構造および下部構造に作用する荷重に対し、下部構造は適切な安全性を確保する。
「耐久性」：長期にわたる使用目的との適合性および構造物の安全性を確保するため耐久性の確保に配慮する。
「施工品質の確保」、「維持管理の容易さ」、「環境との調和」、「経済性」に関しては上記の検討を行う際に念頭に起き、いくつかの検討結果を比較する等、最適なものとなるように配慮するものとする。</td></tr>
<tr><td rowspan="4">限界状態</td><td>a）終局限界状態</td><td colspan="2" rowspan="4">下部構造は、常時、暴風時および地震時に対して、橋全体の要求性能を満足するように各部材の限界状態を適切に設定し、この限界状態をこえないことを照査する。

【常時、暴風時】橋全体の限界状態としては、橋の力学特性が弾性域をこえないこととする。そのためには下部構造は上部構造を確実に支持し、健全でなければならない。下部構造に生じる応力度、地盤反力度、変位等が許容応力度、許容支持力、許容変位等以下となることを照査する。

【レベル1地震時】橋は耐震性能1を確保するよう設計する。各部材の限界状態は力学特性が弾性域を超えない限界の状態と設定すればよい。下部構造では橋が耐震性能1を確保するように設定された下部構造の限界状態に達しないことを照査する。杭あるいは鋼管矢板基礎においては、許容支持力以下であること、許容変位以下であること、各部材が許容応力度以下であることを照査する。

【レベル2地震時】橋は重要度に応じて耐震性能2あるいは3を確保するよう設計する。下部構造は橋が耐震性能2あるいは3を確保するように設定された下部構造の限界状態に達しないことを照査する。杭あるいは鋼管矢板基礎においては、断面力、杭頭反力あるいは地盤反力度、および変位を算出し、基礎が降伏に達しないことを照査する。ただし、基礎に塑性化が生じることを考慮する場合には、基礎の応答塑性率および応答変位を算出し、これらが許容塑性率および許容変位以下となることを照査する。</td></tr>
<tr><td>b）使用限界状態</td></tr>
<tr><td>c）疲労限界状態</td></tr>
<tr><td>d）修復限界状態</td></tr>
<tr><td rowspan="5">照査方法</td><td rowspan="5">照査項目（限界状態）</td><td>終局状態の照査</td><td rowspan="5">表1：耐震性能の観点
<table><tr><th colspan="2" rowspan="2">橋の耐震性能</th><th rowspan="2">耐震設計上の安全性</th><th rowspan="2">耐震設計上の供用性</th><th colspan="2">耐震設計上の修復性</th></tr><tr><th>短期的修復性</th><th>長期的修復性</th></tr><tr><td>耐震性能1</td><td>地震によって橋としての健全性を損なわない性能</td><td>落橋に対する安全性を確保する</td><td>地震前と同じ橋としての機能を確保する</td><td>機能回復のための修復を必要としない</td><td>軽微な修復でよい</td></tr><tr><td>耐震性能2</td><td>地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能</td><td>落橋に対する安全性を確保する</td><td>地震後橋としての機能を速やかに回復できる</td><td>機能回復のための修復が応急修復で対応できる</td><td>比較的容易に恒久修復を行うことが可能である</td></tr><tr><td>耐震性能3</td><td>地震による損傷が橋として致命的とならない性能</td><td>落橋に対する安全性を確保する</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr></table>
表2：一般的な橋に対する塑性化を考慮する部材の組合せと各部材の限界状態（抜粋）
<table><tr><th>限界状態</th><th>耐震設計上の性能</th><th colspan="2">照査項目</th></tr><tr><td rowspan="4">副次的な塑性化にとどめられている状態</td><td rowspan="2">耐震設計上の修復性
耐震設計上の供用性</td><td>基礎の安定及び基礎本体の修復性に関する項目</td><td rowspan="2">・基礎が降伏に達しない。
・基礎の部材に生じる断面力は耐力を上回らない。</td></tr><tr><td>基礎の過大な変位及び残留編に関する項目</td></tr><tr><td rowspan="2">耐震設計上の安全性</td><td>基礎の安定の喪失に関する項目</td><td rowspan="2">・耐震設計上の修復性ならびに耐震設計上の供用性に関する照査項目の照査により満足される。</td></tr><tr><td>基礎の過大な変位に関する項目</td></tr><tr><td rowspan="4">復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じていない状態</td><td rowspan="2">耐震設計上の修復性
耐震設計上の供用性</td><td>基礎の安定及び基礎本体の修復性に関する項目</td><td rowspan="2">・基礎の応答塑性率が許容塑性率以下となる。
・基礎の部材に生じる断面力は耐力を上回らない。</td></tr><tr><td>基礎の過大な変位及び残留編に関する項目</td><td>・基礎天端での応答回転角が基礎の回転角の許容値以下となる。</td></tr><tr><td rowspan="2">耐震設計上の安全性</td><td>基礎の安定の喪失に関する項目</td><td rowspan="2">・耐震設計上の修復性ならびに耐震設計上の供用性に関する照査項目の照査により満足される</td></tr><tr><td>基礎の過大な変位に関する項目</td></tr></table>
表3：基礎の照査における照査項目（限界状態と照査項目の関係）
<table><tr><th>塑性化を考慮する部材
各部材の限界状態</th><th>橋脚</th><th>橋脚と上部構造</th><th>基礎</th><th>免震支承と橋脚</th></tr><tr><td>橋脚（耐震性能2）</td><td>損傷の修復容易に行い得る限界の状態</td><td>損傷の修復容易に行い得る限界の状態</td><td>力学的特性が弾性域を超えない限界の状態</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td></tr><tr><td>橋脚（耐震性能3）</td><td>橋脚の水平耐力が大きく低下し始める状態</td><td>橋脚の水平耐力が大きく低下し始める状態</td><td>力学的特性が弾性域を超えない限界の状態</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td></tr><tr><td>基礎
（耐震性能2,3共通）</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td><td>復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td></tr></table></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="10">作用と荷重</td><td colspan="2">基本的考え方</td><td>表4に規定する荷重の組合せは、同時に作用する可能性が高い荷重の組合せのうち、下部構造に不利な影響を与える組合せを示したものであり、設計にあたっては表4に示した組合せのうち、最も不利となる条件を考慮して部材の安全性の評価及び基礎の安定性の評価を行わなければならない。考慮する荷重の荷重の組合せは、表5に示すものが一般的と考えてよい（常時、暴風時、地震時）。橋脚基礎の安定性の照査は、常時に対しては①について行えばよい場合が多い。

表4：荷重の組合せ
<table><tr><th>荷重の組合せ</th></tr><tr><td>1.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)
2.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋温度変化の影響(T)
3.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋風荷重(W)
4.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋温度変化の影響(T)＋風荷重(W)
5.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋制動荷重(BK)
6.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋衝突荷重(CO)
7.活荷重及び衝撃以外の主荷重＋地震の影響(EQ)
8.施工時荷重</td></tr></table>
表5：一般的な荷重の組合せ
<table><tr><th>橋台の設計</th><th>橋脚の設計</th><th>荷重状態</th></tr><tr><td>①死荷重＋活荷重＋土圧
②死荷重＋土圧</td><td>①死荷重＋活荷重
②死荷重＋温度変化の影響
③死荷重+活荷重+温度変化の影響</td><td>常時</td></tr><tr><td>③死荷重＋土圧＋地震の影響</td><td>④死荷重＋地震の影響</td><td>地震時</td></tr><tr><td>―</td><td>⑤死荷重＋風荷重</td><td>暴風時</td></tr></table></td></tr>
<tr><td rowspan="8">荷重作用の種類</td><td>a）死荷重</td><td>死荷重は材料の単位重量を考慮して適切に評価して設定する。</td></tr>
<tr><td>b）活荷重</td><td>活荷重は、自動車荷重（T荷重、L荷重）、群集荷重および軌道の車両荷重とし、大型の自動車の交通状況に応じてA活荷重及びB活荷重に区分する。下部構造を設計する場合の活荷重は、原則として主桁を設計する場合の活荷重とする。活荷重の載荷に際しては衝撃を考慮する。衝撃は橋の支間長、構造特性、死荷重と活荷重の比等を考慮して設定する（支間長を用いた衝撃係数を算出式が記述されている）。ただし、下部構造の設計に用いる上部構造反力には活荷重による衝撃を考慮しない。</td></tr>
<tr><td>c）風作用</td><td>風荷重は、架橋地点の位置、地形及び地表条件や橋の構造特性、断面形状を適切に考慮して設定する。上部構造に作用する風荷重は、橋軸に直角に作用する水平荷重とし、設計部材に最も不利な応力を生じるように載荷する。下部構造に直接作用する風荷重は、橋軸直角方向および橋軸方向に作用する水平荷重とする。</td></tr>
<tr><td>d）地震作用</td><td>(1)橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）と供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動（レベル2地震動）の2段階のレベルの地震動を考慮する。レベル2地震動としてはプレート境界型の大規模地震を想定したタイプⅠと内陸直下型地震を想定したタイプⅡの地震動の2種類を考慮する。
(2)レベル1およびレベル2地震動は耐震設計編に規定する加速度応答スペクトルに基づいて設定する。ただし、建設地点周辺における過去の地震情報、活断層情報、プレート境界で発生する地震の情報、地下構造に関する情報、建設地点の地盤条件に関する情報、既往の強震記録等を考慮して建設地点における設計地震動を適切に推定できる場合には、これに基づいて設計地震動を設定するものとする。</td></tr>
<tr><td>e)波浪等の作用</td><td>水圧は水位の変動、流速、洗掘の影響及び橋脚の形状・寸法を適切に考慮して設定する。浮力又は揚圧力は間隙水や水位の変動を考慮して設定する。波圧は構造物が設置される水深及び波の性状を適切に考慮して設定する。</td></tr>
<tr><td>f)地盤作用</td><td>土圧は構造物の種類や土質条件を適切に考慮して設定する。</td></tr>
<tr><td>g)衝撃作用</td><td>活荷重において考慮する。</td></tr>
<tr><td>その他</td><td>設計に用いる基準温度（+20℃を標準）及び温度変化の範囲（鋼構造では−10～+50℃を標準）は、構造物の種類、架橋地点の環境条件および部材の性質・寸法を適切に考慮して設定する。その他、雪荷重、地盤変動及び支点移動の影響、遠心荷重及び制御荷重、施工時荷重、衝突荷重を設定する。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料の設計用値</td><td colspan="2">a）鋼材</td><td>使用する鋼材は、その特性や品質が確保されていることが使用上の前提条件である。JISや日本道路協会規格等に適合し、かつこれまでに十分な実績のある鋼材は、通常の場合鋼材の特性が明確でしかも品質が一定以上の水準であると考えられるため、鋼材検査証明書を確認することにより、所要の特性や品質を有するものとみなすことができる。これらの鋼材に関しては、機械的性質（降伏応力他＝レベル2地震時の検討に使用）と許容応力度（常時、暴風時、レベル1地震時の検討に使用）が記述されている。
新しい鋼材を適用するにあたっては、鋼材特性が構造物の性能に及ぼす影響を試験等によって確認するとともに、品質についてもJIS等の規格と同等であることを確認しなければならない。</td></tr>
<tr><td colspan="2">b）コンクリート</td><td>―</td></tr>
</table>

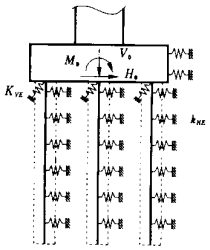
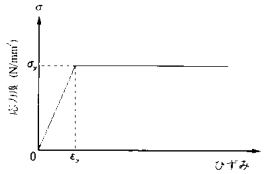
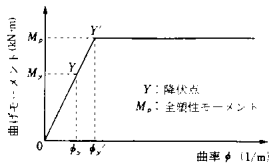
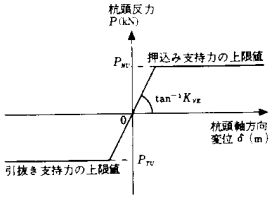
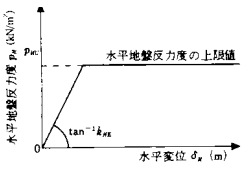
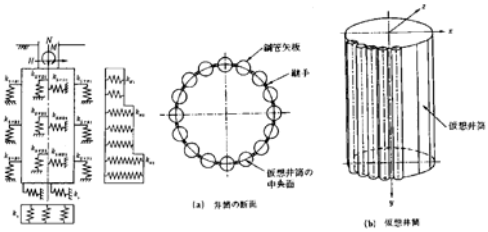
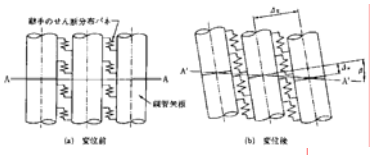
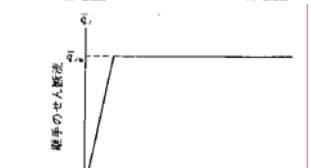
構造設計方法	構造解析方法	【鋼管杭基礎】 (1)常時、暴風時、レベル1地震時: 杭基礎における杭反力及び変位は、杭体及び地盤の特性を適切に考慮して算出する。次による場合は、それを満足するとみなしてよい。杭基礎における杭反力及び変位は、フーチングを剛体、杭及び地盤を杭の軸方向バネ定数及び杭の直角方向バネ定数で評価した線形弾性体として計算する(常時、暴風時、レベル1地震時に対する照査では杭に発生する応力度を許容応力度以下に制限していることから杭は弾性体として扱ってよい。地盤反力度についても許容変位以下の場合には見かけ上線形と考えても実用上支障はない)。具体的には杭が弾性床上に支持された梁とするラーメンモデルと、杭頭部のバネマトリクスを介して基礎全体の変位を各作用力に釣り合わせた式を解く変位法を記載。 (2)レベル2地震時:杭基礎の各部材の断面力、杭頭反力及び変位は、杭体及び地盤の特性を適切に考慮して算出するものとする。次による場合はそれを満足するとみなしてよい。杭基礎の各部材の断面力、杭頭反力及び変位は、杭基礎を非線形性を考慮した地盤バネによって支持されたラーメン構造に置き換えて計算する。ここで、杭体に生じる軸力及び曲げモーメントに応じて、杭体の曲げ剛性を低下させるものとする。地震時保有水平耐力法により杭基礎を照査するための地盤や杭体の非線形性を考慮したラーメン構造モデルが示されている。 【鋼管矢板基礎】 (1)常時、暴風時、レベル1地震時:鋼管矢板基礎の断面力、地盤反力度及び変位は、基礎及び地盤の特性を適切に考慮して算出するものとする。次による場合は、それを満足すると見なしてよい。鋼管矢板基礎の断面力、地盤反力度及び変位は、地盤抵抗を地盤反力係数により評価し、継手部における鋼管矢板相互のせん断ずれ変形を考慮して基礎全体の曲げ剛性を算定した弾性床上の有限長ばりとして計算する。ただし、せん断ずれ変形が大きくなる場合には、これを考慮した別の解析法によるものとする。具体的に鋼管矢板基礎全体を1つの弾性床上の有限長ばりとする場合の計算方法とせん断ずれを考慮した仮想井筒ばりによる解析法が記載されている。ただし、鋼管矢板基礎においては地盤反力係数はひずみ依存性を考慮したものを用いる。 (2)レベル2地震時:鋼管矢板基礎の断面力、地盤反力度及び変位は、基礎及び地盤の特性を適切に考慮して算出するものとする。次による場合は、それを満足するとみなしてよい。鋼管矢板基礎の断面力、地盤反力度及び変位は、地盤抵抗を地盤反力係数により評価し、継手部における鋼管矢板相互のせん断ずれ変形を考慮した弾性床上のはりとして計算する。具体的には継手のせん断ずれ変形および地盤抵抗の非線形性を考慮し、鋼管矢板の降伏以降の非線形性を無視して、仮想井筒ばりによる解析法を用いることが記載されている。
	部材・断面強度(座屈強度、疲労強度等を含む)	【鋼管杭基礎のレベル2地震時の構造計算】  図-解 12.10.1 杭基礎の解析モデル  図-解 12.10.7 鋼材の応力度～ひずみ曲線  図-解 12.10.6 鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭の杭体の曲げモーメント～曲率関係  (a) 杭の軸方向の抵抗特性  (b) 杭の軸直角方向の抵抗特性 【鋼管矢板基礎のレベル2地震時の構造計算】  図-解 13.6.3 鋼管矢板基礎  (a) 変位前 (b) 変位後  図-解 13.6.5 継手の $\overline{q_j}$ ～$\Delta\nu$ 曲線
構造物、部材の照査方法	終局限界状態の照査 使用限界状態の照査 疲労限界状態の照査 修復限界状態の照査	(1)常時、暴風時、レベル1地震時:杭あるいは鋼管矢板基礎においては、許容支持力以下であること、許容変位以下であること、各部材が許容応力度以下であることを照査する。 (2)レベル2地震時:基礎が降伏に達しないことを照査するのを原則とする。ただし、基礎の塑性化を考慮する場合には、基礎の応答塑性率及び応答変位がそれぞれ許容塑性率及び許容変位以下であることを照査する。 なお、杭基礎の各部材は上の方法により算出する断面力が当該部材の耐力以下となることを照査するものとしているが、杭本体の曲げモーメントについては、上の方法の中で部材の塑性化による剛性低下を考慮しているため、照査は省略してもよいとされている。また、鋼管杭においては、曲げとせん断を同時に受けた組合せ応力下での耐力を照査すべきであるが、杭体の塑性化においては曲げモーメントが支配的なためせん断耐力の照査は省略してもよいとされている。

表-4.4.13 道路施設／鋼製橋脚

<table>
<tr><td colspan="3">設計基準類</td><td>道路橋示方書・鋼橋編（H14年）
道路橋示方書・耐震設計編(H14年）
<u>鋼製橋脚</u></td></tr>
<tr><td rowspan="3">設計の基本</td><td colspan="2">a）設計対象・範囲</td><td>道路橋示方書は支間長が200m以下の橋の設計、施工に適用し、鋼橋編は、主として鋼製の上部構造及び橋脚構造に適用する。設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性を考慮し、理論的な妥当性を有する手法、実験などにより検証がなされた手法等適切な知見に基づいて行う（基本的に従来の仕様規定型から性能規定型へ変更されているが、必ずしも判断基準が定量的に示された体系とはなっておらず、要求事項と要求事項を満足するための規定とを併記）。
鋼橋編では主に上部構造に関して記述されており、鋼製橋脚については明確に独立した章がある訳ではない。鋼製橋脚についての記述は、部材の設計の中や鋼管構造、ラーメン構造等の構造別の章の中に記述がある。地震の影響については耐震設計編により、行うものとする。</td></tr>
<tr><td colspan="2">b）設計供用期間</td><td>改訂にあたって目標期間として100年を念頭に置くべきではないかとの議論もなされたが、既存構造物に支障が生じていないことや十分なデータの蓄積がないことから多くの規定は従来からの記述を踏襲。ただし、新たに規定された耐久性に関する事項について、一定の知見が得られているものを対象に目安として100年を設定（共通編に記載）。特に鋼橋編においては供用期間の明示はない。</td></tr>
<tr><td colspan="2">c）要求性能</td><td>鋼橋の構造設計においては、荷重によって橋の各部材に生じる応力が、部材の安全を確保できるレベルに留まることを照査し、また荷重によって橋に生じる変位が有害なものとならないレベルに留まることを照査するものとする。また、通行者が安全かつ快適に使用できる供用性を確保するためには供用性を害するような過大な変形を生じないこと、及び通行者に不快感を与えるような振動を生じないことが要求される。さらに、構造物の安全性を確保するためには、断面の破壊や部材の不安定化によって耐荷能力が失われることを避けなければならない。
「施工品質の確保」、「維持管理の容易さ」、「環境との調和」、「経済性」に関しては、常に念頭におかなければならない。
設計にあたっては、経年変化による影響を適切に考慮しなければならない。
設計においては、必要に応じて懸念される損傷形態とそれらに対する補修等の方法についても検討しておくことが望ましい。</td></tr>
<tr><td rowspan="4">限界状態</td><td colspan="2">a）終局限界状態</td><td rowspan="4">道路橋示方書・鋼橋編には明確な限界状態の設定の記述はない。耐震設計編においては、限界状態が設定されている。

鋼橋編においては、下記の記述がある。
構造物の安全性等を確保するために強度、変形及び安定を照査しなければならない。
・上記を照査するにあたっては、部材に発生する応力度が許容応力度以下であることを照査しなければならない。
・たわみは許容値以内になければならない。
・各章の規定に従って安全性等の照査を行う場合には、基本的事項については構造物の安全性が確保されているとみなしてよい。

耐震設計編においては下記のような記述となっている。
【レベル1地震時】橋は耐震性能1を確保するよう設計する。各部材の限界状態は力学特性が弾性域を超えない限界の状態と設定すればよい。鋼製橋脚では橋が耐震性能1を確保するように設定された鋼製橋脚の限界状態に達しないことを照査する。鋼製橋脚においては、各部材が許容応力度以下であることを照査する。</td></tr>
<tr><td colspan="2">b）使用限界状態</td></tr>
<tr><td colspan="2">c）疲労限界状態</td></tr>
<tr><td colspan="2">d）修復限界状態</td></tr>
<tr><td rowspan="5">照査方法</td><td rowspan="5">照査項目
（限界状態）</td><td>終局状態の照査</td><td rowspan="5">【レベル2地震時】橋は重要度に応じて耐震性能2あるいは3を確保するよう設計する。鋼製橋脚は橋が耐震性能2あるいは3を確保するように設定された鋼製橋脚の限界状態に達しないことを照査する。
＜耐震性能2＞動的解析により算出される鋼製橋脚の最大応答値が許容値以下となるとともに、動的解析により算出される上部構造慣性力の作用位置における最大応答変位を用いて算出される残留変位が許容残留変位以下となることを照査する。
＜耐震性能3＞動的解析により算出される鋼製橋脚の最大応答値が許容値以下となるように照査する。

表-1 耐震性能の観点
<table><tr><td colspan="2">橋の耐震性能</td><td>耐震設計上の安全性</td><td>耐震設計上の供用性</td><td colspan="2">耐震設計上の修復性</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>短期的修復性</td><td>長期的修復性</td></tr><tr><td>耐震性能1</td><td>地震によって橋としての健全性を損なわない性能</td><td>落橋に対する安全性を確保する</td><td>地震前と同じ橋としての機能を確保する</td><td>機能回復のための修復を必要としない</td><td>軽微な修復でよい</td></tr><tr><td>耐震性能2</td><td>地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能</td><td>落橋に対する安全性を確保する</td><td>地震後橋としての機能を速やかに回復できる</td><td>機能回復のための修復が応急修復で対応できる</td><td>比較的容易に恒久修復を行うことが可能である</td></tr><tr><td>耐震性能3</td><td>地震による損傷が橋として致命的とならない性能</td><td>落橋に対する安全性を確保する</td><td>―</td><td>―</td><td>―</td></tr></table>
表-2 一般的な橋に対する塑性化を考慮する部材の組合せと各部材の限界状態
<table><tr><td>塑性化を考慮する部材
各部材の限界状態</td><td>橋脚</td><td>橋脚と上部構造</td><td>基礎</td><td>免震支承と橋脚</td></tr><tr><td>橋脚（耐震性能2）</td><td>損傷の修復容易に行い得る限界の状態</td><td>損傷の修復容易に行い得る限界の状態</td><td>力学的特性が弾性域を超えない限界の状態</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td></tr><tr><td>橋脚（耐震性能3）</td><td>橋脚の水平耐力が大きく低下し始める状態</td><td>橋脚の水平耐力が大きく低下し始める状態</td><td>力学的特性が弾性域を超えない限界の状態</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td></tr><tr><td>基礎
（耐震性能2,3共通）</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td><td>復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態</td><td>副次的な塑性化にとどまる限界の状態</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">使用限界状態の照査</td></tr>
<tr><td colspan="2">疲労限界状態の照査</td></tr>
<tr><td colspan="2">修復限界状態の照査</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="10">作用と荷重</td><td colspan="2">基本的考え方</td><td>表3に規定する荷重の組合せは、同時に作用する可能性が高い荷重の組合せのうち、構造物及び各部材に不利な影響を与える組合せを示したものであり、設計にあたっては表3に示した組合せのうち、最も不利となる条件を考慮して行うものとする。

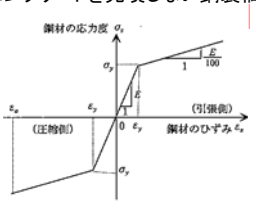
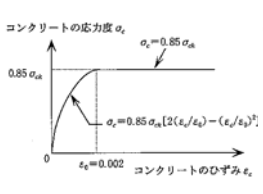
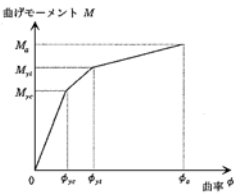
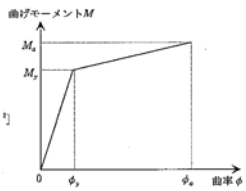
表-3 荷重の組合せ
<table><tr><th>荷重の組合せ</th></tr><tr><td>1.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)
2.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋温度変化の影響(T)
3.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋風荷重(W)
4.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋温度変化の影響(T)＋風荷重(W)
5.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋制動荷重(BK)
6.主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋衝突荷重(CO)
7.活荷重及び衝撃以外の主荷重＋地震の影響(EQ)
8.風荷重(W)
9.制動荷重(BK)
10.施工時荷重(ER)</td></tr></table></td></tr>
<tr><td rowspan="8">荷重作用の種類</td><td>a)死荷重</td><td>死荷重は材料の単位重量を考慮して適切に評価して設定する。</td></tr>
<tr><td>b)活荷重</td><td>活荷重は、自動車荷重(T荷重、L荷重)、群集荷重および軌道の車両荷重とし、大型の自動車の交通状況に応じてA活荷重及びB活荷重に区分する。鋼製橋脚を設計する場合の活荷重は、原則として主桁を設計する場合の活荷重とする。活荷重の載荷に際しては衝撃を考慮する。衝撃は橋の支間長、構造特性、死荷重と活荷重の比等を考慮して設定する(支間長を用いた衝撃係数を算出式が記述されている)。</td></tr>
<tr><td>c)風作用</td><td>風荷重は、架橋地点の位置、地形及び地表条件や橋の構造特性、断面形状を適切に考慮して設定する。上部構造に作用する風荷重は、橋軸に直角に作用する水平荷重とし、設計部材に最も不利な応力を生じるように載荷する。鋼製橋脚に直接作用する風荷重は、橋軸直角方向および橋軸方向に作用する水平荷重とする。</td></tr>
<tr><td>d)地震作用</td><td>(1)橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動(レベル1地震動)と供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動(レベル2地震動)の2段階のレベルの地震動を考慮する。レベル2地震動としてはプレート境界型の大規模地震を想定したタイプⅠと内陸直下型地震を想定したタイプⅡの地震動の2種類を考慮する。
(2)レベル1およびレベル2地震動は耐震設計編に規定する加速度応答スペクトルに基づいて設定する。ただし、建設地点周辺における過去の地震情報、活断層情報、プレート境界で発生する地震の情報、地下構造に関する情報、建設地点の地盤条件に関する情報、既往の強震記録等を考慮して建設地点における設計地震動を適切に推定できる場合には、これに基づいて設計地震動を設定するものとする。</td></tr>
<tr><td>e)波浪等の作用</td><td>水圧は水位の変動、流速、洗掘の影響及び橋脚の形状・寸法を適切に考慮して設定する。浮力又は揚圧力は間隙水や水位の変動を考慮して設定する。波圧は構造物が設置される水深及び波の性状を適切に考慮して設定する。</td></tr>
<tr><td>f)地盤作用</td><td>土圧は構造物の種類や土質条件を適切に考慮して設定する。</td></tr>
<tr><td>g)衝撃作用</td><td>活荷重において考慮する。</td></tr>
<tr><td>その他</td><td>設計に用いる基準温度(+20℃を標準)及び温度変化の範囲(鋼構造では-10～+50℃を標準)は、構造物の種類、架橋地点の環境条件および部材の性質・寸法を適切に考慮して設定する。その他、雪荷重、地盤変動及び支点移動の影響、遠心荷重及び制御荷重、施工時荷重、衝突荷重を設定する。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料の設計用値</td><td colspan="2">a)鋼材</td><td>使用する鋼材は、その特性や品質が確保されていることが使用上の前提条件である。JISや日本道路協会規格等に適合し、かつこれまでに十分な実績のある鋼材は、通常の場合鋼材の特性が明確でしかも品質が一定以上の水準であると考えられるため、鋼材検査証明書を確認することにより、所要の特性や品質を有するものとみなすことができる。これらの鋼材に関しては、機械的性質(降伏応力他＝レベル2地震時の検討に使用)と許容応力度(常時、暴風時、レベル1地震時の検討に使用)が記述されている。
新しい鋼材を適用するにあたっては、鋼材特性が構造物の性能に及ぼす影響を試験等によって確認するとともに、品質についてもJIS等の規格と同等であることを確認しなければならない。</td></tr>
<tr><td colspan="2">b)コンクリート</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="2">構造設計方法</td><td colspan="2">構造解析方法</td><td>＜鋼橋編＞
構造部材の応力度及び変位量の算出には、荷重状態に応じた部材の材料特性、橋の規模や構造形式に応じた幾何学的特性、支持条件等を適切に評価できる解析理論及び解析モデルを用いなければならない。
構造解析法として従来、主として死荷重、活荷重等のさまざまな荷重の組合せに便利な方法として、はり理論、格子解析等による線形構造解析が用いられてきた。近年は、部材の立体的な配置を表現したモデルによる有限要素解析、幾何学的非線形性の影響も考慮した有限変位解析、動的解析等の高度な解析手法も従来に比べてかなり一般的に用いられるようになっており、構造形式や照査の目的に応じて、これらの手法を適宜選択の上使用することが望ましい。
＜耐震設計編＞
鋼製橋脚に塑性化を考慮する橋に対する耐震性能2又は耐震性能3の照査は動的照査法により行う。解析方法としては非線形履歴モデルを用いた時刻暦応答解析法を用いるのが良い。</td></tr>
<tr><td colspan="2">部材・断面強度(座屈強度、疲労強度等を含む)</td><td>鋼製橋脚の断面のM－φ関係の設定法
コンクリートを充填しない鋼製橋脚と充填した鋼製橋脚で2種類のM－φ関係を示している。
 
図-解 11.2.1 鋼材の応力度－ひずみ曲線
 
図-解 11.2.3 コンクリートの応力度－ひずみ曲線
 
図-解 11.2.2 塑性化を考慮するコンクリートを充填しない鋼断面のM－φ関係
 
図-解 11.2.4 塑性化を考慮するコンクリートを充填した断面のM－φ関係</td></tr>
<tr><td rowspan="4">構造物、部材の照査方法</td><td colspan="2">終局限界状態の照査</td><td rowspan="4">上記照査方法の項に記載。</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用限界状態の照査</td></tr>
<tr><td colspan="2">疲労限界状態の照査</td></tr>
<tr><td colspan="2">修復限界状態の照査</td></tr>
</table>

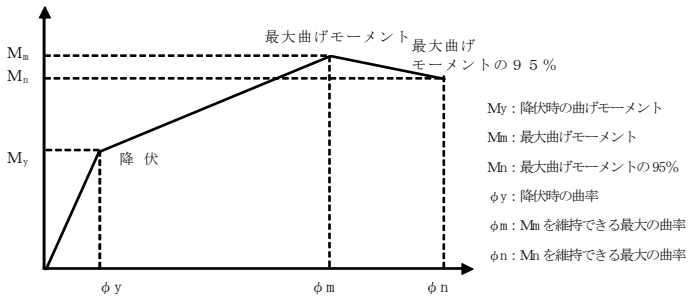
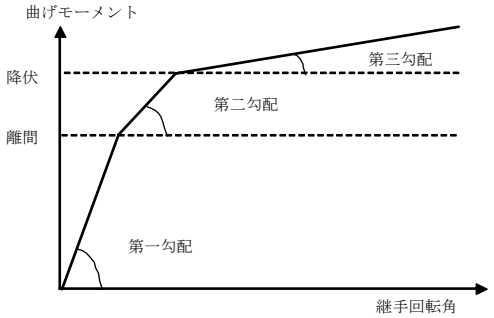
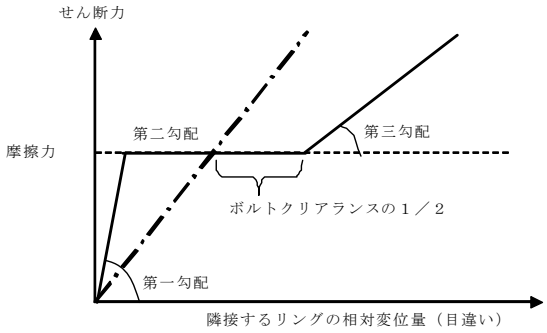
表-4.4.14 道路施設／トンネル分野（シールドトンネル）

<table>
<tr><td colspan="3">設計基準類</td><td>2006年制定　トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説　第5編　限界状態設計法</td></tr>
<tr><td rowspan="3">設計の基本</td><td colspan="2">a）設計対象・範囲</td><td>本編は，限界状態設計法により覆工の設計を行う場合についての基本となる事項を示すものである.
本編は，円形の断面を有するシールドトンネルの覆工の設計を限界状態設計法により行う場合の基本を示したものである.
限界状態設計法は，とくに各種の安全係数の精度を向上させることでさらに合理的なものになると考えられる．このためには，設計の適用実績や今後の研究成果等の新しい知見を集積していく必要がある.</td></tr>
<tr><td colspan="2">b）設計供用期間</td><td>シールドトンネルの設計耐用期間は，トンネルに要求される供用期間，維持管理の方法，環境条件等によるトンネルの耐久性を考慮して定める.
設計耐用期間はシールドトンネルの使用目的から定められるトンネルの供用期間やトンネル周辺の地盤，地下水等の環境条件および覆工の耐久性能を考慮して適切に定めるものとする.</td></tr>
<tr><td colspan="2">c）要求性能</td><td>限界状態設計法による覆工の設計は，その使用目的に対して安全性，使用性，耐久性の確認をおこなうことを基本とし，設計耐用期間中に構造物が設定した限界状態に至らないことを確認するものとする.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">限界状態</td><td colspan="2">a）終局限界状態</td><td>終局限界状態は，耐荷性および変形性に対応する限界状態であり，安全性の照査に用いる限界状態である．シールドトンネルにおけるその代表的な例を解説 表 5.1に示す．このうち，構造破壊の終局限界状態および変形の終局限界状態については，破壊メカニズム，地盤との相互作用の解明が十分ではなく今後の検討課題であるので，本示方書では取り上げていない.
解説 表5.1　終局限界状態の例
断面破壊の終局限界状態：セグメント本体や継手の断面が破壊する状態
構造破壊の終局限界状態：断面破壊が生じることでトンネルが崩壊に至る状態
変形の終局限界状態：構造物または部材の変形により耐荷能力を失う状態
安定の終局限界状態：トンネルが浮上り等により安定を失う状態</td></tr>
<tr><td colspan="2">b）使用限界状態</td><td>使用限界状態は，通常の使用性や機能確保に関連する限界状態であり，
使用性あるいは耐久性の照査に用いる限界状態である.
シールドトンネルにおけるその代表的な例を解説 表 5.2に示す.
解説 表5.2　使用限界状態の例
ひび割れの使用限界状態：鉄筋の腐食またはひび割れ部からの漏水によってセグメントの耐久性，水密性が損なわれる状態
変形の使用限界状態：過大な変形によりトンネルを使用するために必要な建築限界等の必要内空確保が損なわれる状態
目開き量の使用限界状態：トンネルの止水性を確保するために設計で考慮したセグメント継手の目開き量が大きくなり，水密性，継手部の耐久性が損なわれる状態
損傷の使用限界状態：部材に損傷を生じ，そのまま使用することが不適当となる状態</td></tr>
<tr><td colspan="2">c）疲労限界状態</td><td>シールドトンネルは周辺地山に拘束されているため，鉄道や自動車等の振動による疲労の影響は小さいものと考えられ，疲労限界状態に関する照査は基本的には行わなくてよいものとし，終局限界状態と使用限界状態を検討の対象とした.</td></tr>
<tr><td colspan="2">d）修復限界状態</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="2">照査方法</td><td rowspan="2">照査項目（限界状態）</td><td>終局状態の照査</td><td>（１）シールドトンネルが，所要の安全性を設計耐用期間にわたり保持することを確認しなければならない.
（２）シールドトンネルの安全性の照査は，設計荷重のもとで，すべての構成部材が断面破壊の終局限界状態に至らないこと，ならびに安定の終局限界状態に至らないことを確認することにより行うことを原則とする.
（３）断面破壊の終局限界状態に対する検討は，設計断面力Sdの設計断面耐力Rdに対する比に構造物係数γiを乗じた値が，1.0以下であることを確かめることにより行うものとする.
$\gamma i\ Sd / Rd \leqq 1.0$
1）設計断面耐力Rdは，設計強度fdを用いて部材断面の耐力R（RはFdの関数）を算定し，これを部材係数γbで除した値とする.
$Rd = R(fd) / \gamma b$
2）設計断面力Sdは，設計荷重Fdを用いて断面力S（SはFdの関数）を算定し，これに構造解析係数γaを乗じた値を合計したものとする.
$Sd = \Sigma\ \gamma a\ S(Fd)$
（４）安定の終局限界状態に対する検討は，シールドトンネルが安定性を失わないことを確認することにより行うものとする.</td></tr>
<tr><td>使用限界状態の照査</td><td>（１）覆工が，所要の使用性を設計耐用期間にわたり保持することを照査しなければならない.
（２）使用性の照査は，設計荷重のもとで，覆工が使用限界状態に至らないことを確認することにより行うことを原則とする.
（３）一般的な次の項目について使用限界状態を設定し，適切な方法によって検討しなければならない.
1）鉄鋼製セグメントの照査項目（合成セグメントを含む）
・鉄鋼製セグメント主断面の応力度，変形量
・継手部の応力度，変形量
・スキンプレートの応力度，縦リブの応力度
（４）その他，必要に応じて所要の使用限界状態を設定し，適切な方法によって検討を行うものとする.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="3">照査方法</td><td rowspan="3">照査項目（限界状態）</td><td>疲労限界状態の照査</td><td>－</td></tr>
<tr><td>修復限界状態の照査</td><td>－</td></tr>
<tr><td>耐震設計の</td><td>耐震設計を行う場合には，構造物の重要度，対象とする地震動の規模，立地条件や地山条件，構造や形状等を考慮し，トンネルの使用目的に応じて定める地震時の安全性を適切な方法で照査するものとする．
解説 表 5.13　耐震設計における安全性の照査方法
<table>
<tr><td>常時の設計</td><td>レベル 1 地震動</td><td>レベル 2 地震動</td></tr>
<tr><td>許容応力度設計法</td><td>許容応力度設計法</td><td>限界状態設計法</td></tr>
<tr><td>限界状態設計法</td><td>限界状態設計法</td><td>限界状態設計法</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td rowspan="8">作用と荷重</td><td colspan="2">基本的考え方</td><td>（１）覆工の設計には，施工中および供用中に作用する荷重を，検討すべき限界状態に応じて，適切な組合せのもとに考慮しなければならない．
（２）設計荷重は，荷重の特性値に荷重係数を乗じて定めるものとする．

荷重係数γfは，荷重の特性値からの望ましくない方向への変動，荷重の算定方法の不確実性，荷重の変化，荷重特性が限界状態に及ぼす影響，環境作用の変動等を考慮して適切に定めるものとする．
解説 表 5.6　荷重係数の目安
<table>
<tr><td rowspan="2">限界状態</td><td colspan="2">土圧</td><td rowspan="2">側方土圧係数</td><td rowspan="2">水圧</td><td rowspan="2">地盤反力係数</td><td rowspan="2">自重</td><td rowspan="2">上載荷重</td><td rowspan="2">その他</td></tr>
<tr><td>緩み土圧</td><td>全土被り圧</td></tr>
<tr><td>終局限界状態</td><td>1.0～1.3 注)</td><td>1.05</td><td>0.8～1.0</td><td>0.9～1.0</td><td>0.9～1.0</td><td>1.0～1.1</td><td>1.0～1.3</td><td>1.0～1.3</td></tr>
<tr><td>使用限界状態</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr>
</table>
注）鉛直土圧の下限値を採用する場合は，1.0 を用いてよい．</td></tr>
<tr><td rowspan="7">荷重作用の種類</td><td>a）死荷重</td><td rowspan="7">（１）覆工の設計にあたって考慮する荷重は，次のとおりとする．
①鉛直土圧および水平土圧
②水圧
③覆工の自重
④上載荷重の影響
⑤地盤反力
⑥施工時荷重
⑦地震の影響
⑧近接施工の影響
⑨地盤沈下の影響
⑩併設トンネルの影響
⑪内部荷重
⑫その他の荷重

（２）設計荷重は，それぞれの限界状態に対して検討すべき荷重の組合せを設定するものとする．</td></tr>
<tr><td>b）活荷重</td></tr>
<tr><td>c）風作用</td></tr>
<tr><td>d）地震作用</td></tr>
<tr><td>e)波浪等の作用</td></tr>
<tr><td>f)地盤作用</td></tr>
<tr><td>g)衝撃作用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料の設計用値</td><td colspan="2">a）鋼材</td><td rowspan="2">材料係数γmは，材料強度の特性値の変動，供試体と構造物との材料強度の差異，材料強度が限界状態に及ぼす影響，材料強度の経時変化等を考慮して定める安全係数とし，コンクリート，鉄筋，鋼材等について適宜定めてよい値とする．
表 5.3　鉄筋の強度の特性値　(N/mm²)
<table>
<tr><td colspan="2">鉄筋の種類</td><td>SR235</td><td>SR295</td><td>SD295A,B</td><td>SD345</td><td>SD390</td></tr>
<tr><td>引張降伏強度</td><td>f_{yk}</td><td>235</td><td>295</td><td>295</td><td>345</td><td>390</td></tr>
<tr><td>圧縮降伏強度</td><td>f'_{yk}</td><td>235</td><td>295</td><td>295</td><td>345</td><td>390</td></tr>
<tr><td>せん断降伏強度</td><td>f_{vyk}</td><td>135</td><td>170</td><td>170</td><td>195</td><td>225</td></tr>
</table>
解説 表 5.14　耐震設計に用いる安全係数の一例
<table>
<tr><td rowspan="2">設　計
地震動</td><td colspan="4">材料係数</td><td rowspan="2">部材係数</td><td rowspan="2">荷重係数</td><td rowspan="2">構造解析係数</td><td rowspan="2">構造物係数</td></tr>
<tr><td>ｺﾝｸﾘｰﾄ</td><td>鉄筋</td><td>鋼</td><td>ﾀﾞｸﾀｲﾙ</td></tr>
<tr><td>レベル 1</td><td>1.20</td><td>1.00</td><td>1.05</td><td>1.05</td><td>1.05～1.20</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.0～1.3</td></tr>
<tr><td>レベル 2</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00※</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td></tr>
</table>
※ コンクリートのせん断に対しては，破壊形態が脆性的であることや耐力にばらつきがあること等を考慮して部材係数を 1.20 とする．</td></tr>
<tr><td colspan="2">b）コンクリート</td></tr>
</table>

構造設計方法	構造解析方法	限界状態設計法では，セグメント主断面および継手の剛性低下の影響を適切に評価して各部の応答値を算出できる解析方法を適用しなければならない. セグメントに限界状態設計法を適用するにあたっては，終局限界状態，使用限界状態について，セグメント主断面，セグメント継手およびリング継手等各部の照査を行う必要があることから，個々に発生断面力が得られるはりーばねモデルによる計算法が有効である. また、耐震設計に用いる構造解析は，適切な構造モデルを用いて行うものとする. 構造解析における地震動の入力は，地盤の振動解析方法との整合性や周辺地盤とトンネル構造物の相互作用を考慮した適切な方法で行うものとする. 一般的には，トンネル横断方向の設計ではセグメントリングを円周方向のはり部材としてモデル化し，トンネル縦断方向の設計ではトンネルを縦断方向のはり部材としてモデル化する例が多い.
	部材・断面強度（座屈強度、疲労強度等を含む）	構造解析にあたっては，セグメントの分割と配置，セグメント主断面および継手の剛性低下等の影響を適切に評価できる部材モデルを適用しなければならない. 鉄鋼製セグメントの曲げ剛性の低下は，鋼材の非線形特性や，局部座屈等の影響を考慮して定める必要がある．鉄鋼製セグメントについては，セグメント主断面の破壊試験のデータが不足しているため，ここでは一般的な鋼製構造の剛性評価の考え方を以下に紹介する．鋼製構造では，矩形断面や円形断面の構成部材に対する非線形特性を解説 図 5.9に示すトリリニアとして評価できると考えられており，それぞれの折れ点における曲げモーメントと曲率を求める方法が提案されている. 耐震設計は，シールドトンネルは線状の構造物であり，周辺地盤に比べてその質量は小さいと考えられることから，応答変位法にもとづいて構造解析を行うのが一般的である. 鉄鋼製セグメントのセグメント継手における曲げモーメントと継手回転角との関係は，一般的に解説 図 5.11に示すようにトリリニアな関係となる．各勾配はそれぞれ以下に示す状態であると考えられる．曲げ剛性の算定にあたっては，有効幅を有するはりとして継手板を評価し，継手板周辺の固定条件に応じて複合はりとして継手板の変形性能を考慮する．なお，曲げ剛性は，ボルトの初期締結力による継手板の圧縮ひずみやボルトの伸び（解説 図 5.12），継手板の変形によって生じるてこ反力（解説 図 5.13）等の影響を大きく受ける場合があるため，必要に応じてこれらの影響を考慮するものとする. リング継手のせん断挙動は，一般的に解説 図 5.14に示すような関係となる．各勾配はそれぞれ以下に示すような状態と考えられる.  解説 図 5.9 鋼製構造の部材断面の曲げモーメントと曲率の関係の例  解説 図 5.11 鉄鋼製セグメントセグメント継手における曲げモーメントと回転角の関係  解説 図 5.14 せん断力とリング間相互変位量の関係

<table>
<tr>
<td rowspan="4">構造物、部材の照査方法</td>
<td>終局限界状態の照査</td>
<td>（１）シールドトンネルが，所要の安全性を設計耐用期間にわたり保持することを確認しなければならない．
（２）シールドトンネルの安全性の照査は，設計荷重のもとで，すべての構成部材が断面破壊の終局限界状態に至らないこと，ならびに安定の終局限界状態に至らないことを確認することにより行うことを原則とする．
（３）断面破壊の終局限界状態に対する検討は，設計断面力Sdの設計断面耐力Rdに対する比に構造物係数γｉ を乗じた値が，1.0以下であることを確かめることにより行うものとする．
$\gamma i\ Sd / Rd \leqq 1.0$
1）設計断面耐力Rdは，設計強度fdを用いて部材断面の耐力R（RはFdの関数）を算定し，これを部材係数γbで除した値とする．
$Rd = R(fd) / \gamma b$
2）設計断面力Sdは，設計荷重Fdを用いて断面力S（SはFdの関数）を算定し，これに構造解析係数γａを乗じた値を合計したものとする．
$Sd = \Sigma \gamma a\ S(Fd)$
（４）　安定の終局限界状態に対する検討は，シールドトンネルが安定性を失わないことを確認することにより行うものとする．
解説 表 5.9　終局限界状態の主な照査項目と限界値
<table>
<tr><th>部位</th><th>照査項目</th><th>限界値</th></tr>
<tr><td rowspan="2">主断面</td><td>曲げモーメント，軸力</td><td>曲げ耐力，軸方向耐力</td></tr>
<tr><td>せん断力</td><td>せん断耐力</td></tr>
<tr><td rowspan="2">継手部</td><td>曲げモーメント，軸力</td><td>曲げ耐力，軸方向耐力</td></tr>
<tr><td>せん断力</td><td>せん断耐力</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>使用限界状態の照査</td>
<td>（１）覆工が，所要の使用性を設計耐用期間にわたり保持することを照査しなければならない．
（２）使用性の照査は，設計荷重のもとで，覆工が使用限界状態に至らないことを確認することにより行うことを原則とする．
（３）一般的な次の項目について使用限界状態を設定し，適切な方法によって検討しなければならない．
1）鉄鋼製セグメントの照査項目（合成セグメントを含む）
・鉄鋼製セグメント主断面の応力度，変形量
・継手部の応力度，変形量
・スキンプレートの応力度，縦リブの応力度
（４）その他，必要に応じて所要の使用限界状態を設定し，適切な方法によって検討を行うものとする．
解説 表 5.10(b)　鉄鋼製セグメントの使用限界状態の主な照査項目と限界値の例
<table>
<tr><th></th><th>部位</th><th>照査項目</th><th>限界値</th></tr>
<tr><td rowspan="2">応力度</td><td>主断面</td><td>鋼材応力度</td><td>応力度の制限値</td></tr>
<tr><td>継手部</td><td>鋼材応力度</td><td>応力度の制限値</td></tr>
<tr><td rowspan="3">変形</td><td>セグメントリング</td><td>リング変形量</td><td>許容変形量</td></tr>
<tr><td rowspan="2">継手部</td><td>目開き</td><td>許容目開き量</td></tr>
<tr><td>目違い</td><td>許容目違い量</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>疲労限界状態の照査</td>
<td>－</td>
</tr>
<tr>
<td>修復限界状態の照査</td>
<td>耐震設計における安全性の照査対象となる限界値は，部材の耐力または変形となる．一般的にレベル1地震動に対する耐震検討においては応答値を各部材の耐力値以内にとどめるのが基本となるので，安全性の照査を部材の耐力で行うこととなる．そのときの安全性の照査および耐力の算定方法は，「第7章　終局限界状態の照査」に従ってよい．一方，レベル2地震動に対する耐震検討では，部材の変形量が限界値を超えなければ，セグメントリングとして断面を維持することは可能と考えられることから，構造計算も非線形性を考慮したものとなり，安全性の照査は部材の変形量について行うこととなる．このとき，弾性範囲を超えた領域における照査方法で対象となる変形性能に関する限界値は，セグメント主断面および継手部を対象としたリング変形量と部材の限界曲率，継手部を対象とした目開き量と目違い量が考えられる．リング変形量，継手部の目開き量および目違い量の限界値は，地震の影響を受けた後に設定した被害レベルの程度に応じて，トンネルの機能を短期間で修復できる程度の損傷にとどめる，または大規模な補修補強を行うことを前提としてトンネル機能のすべてまたは一部を回復できる程度の損傷にとどめるように設定することが望ましい．</td>
</tr>
</table>

表-4.4.15　道路施設／トンネル分野（沈埋トンネル）

<table>
<tr><td colspan="2">設計基準類</td><td>【マニュアル】　沈埋トンネル技術マニュアル（改訂版），平成14年8月，財団法人 沿岸開発技術研究センター
【省令】　港湾の施設の技術上の基準を定める省令，平成19年3月26日
【告示】　港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示，平成19年3月28日
【港湾基準】　港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成19年7月，社団法人　日本港湾協会</td></tr>
<tr><td rowspan="3">設計の基本</td><td>a）設計対象・範囲</td><td>【港湾基準】
第6章　臨港交通施設
3.1 一般
（2）ここでの記述は港湾の道路用の沈理工法によるトンネル（以下、沈埋トンネルという）の性能照査に適用することができる。他の用途あるいは他の形式のトンネルについては、各々関連する基準類による必要がある。
（6）港湾の道路用の沈埋トンネルの性能照査に当たっては、沈埋トンネル技術マニュアルを参考にすることができる。
3.2　性能照査の基本方針
（8）沈埋函
①沈埋函のタイプには、鋼殻式、コンクリート式（鉄筋コンクリート式、プレストレストコンクリート式）及び合成方式（ハイブリッド式）があり、それぞれの特徴等を考慮して最も適切なものを選択すべきである。</td></tr>
<tr><td>b）設計供用期間</td><td>【マニュアル】
沈埋トンネルの構造物の設計供用期間は，構造物に予定される供用期間などを考慮して定める.
沈埋トンネル各構造物の設計供用期間は，管理者等が定める予定供用期間に対して施工期間，供用期間中の材料の劣化，地震動の再現期間，維持管理方法などを考慮して定める.</td></tr>
<tr><td>c）要求性能</td><td>【省令】
第三十六条
道路の要求性能は、次の各号に定めるものとする。
一　港湾における交通の特性を考慮した上で港湾内及び港湾とその背後地との間における車両等の安全かつ円滑な交通を確保できるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること。
二　載荷重等の作用による損傷等が、当該道路の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと。
２　前項に規定するもののほか、トンネルの構造を有する道路の要求性能にあっては、次の各号に定めるものとする。
一　自重、土圧、水圧、レベル一地震動等の作用による損傷等が、当該道路の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと。
二　レベル二地震動、火災による火熱等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該道路の機能の回復に影響を及ぼさないこと。

【マニュアル】
沈埋トンネルの構造物に対する要求性能を満足するように，目標性能を構造物あるいは構造要素（部材）に適切に設定する.
沈埋トンネルの目標性能は，安全性，使用性，復旧性等に対して設定する.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="4">限界状態</td><td>a）終局限界状態</td><td rowspan="2">【告示】
第七十七条(水底トンネルの性能規定)
水底トンネルの性能規定は､次の各号に定めるものとする.
一　船舶の投錨及び走錨，波浪及び水の流れによる洗掘等に対して，部材の健全性及び構造の安定性を確保できるよう，適切な材料によって所要の厚さで被覆されていること.
二　安全かつ円滑に利用できるよう，所要の管理設備を有すること.
三　主たる作用がレベル二地震動及び火災による火熱である偶発状態に対して，作用による損傷の程度が限界値以下であること.
２　前項に規定するもののほか，沈埋トンネルの性能規定にあっては，次の各号に定めるものとする.
一　主たる作用が自重である永続状態に対して，基礎地盤の支持力不足による破壊の生じる危険性が限界値以下であること.
二　主たる作用が土圧である永続状態に対して，部材の健全性を損なう危険性が限界値以下であること.
三　主たる作用が水圧である変動状態に対して，沈埋函，換気所及び立坑の浮き上がりの生じる危険性が限界値以下であること.
四　主たる作用がレベル一地震動である変動状態に対して，部材の健全性及び沈埋函，換気所，立坑，継手部等の安定性を損なう危険性が限界値以下であること.

【マニュアル】
沈埋トンネルの構造物の性能照査は，目標性能に応じて限界状態を適切に対応付けることで行ってもよい.
限界状態の設定による照査は，部分安全係数法によることを標準とする．部分安全係数法による照査式は一般に式(4.1.1)のとおりである．これは，照査項目ごとに応答値が限界値に到達しないことを確認するものである.

γi・Sd ／ Rd ≦ 1．0　　(4.1.1)

ここで，　Sd：照査用応答値（＝S・γa）
S：応答値（照査項目に対応して，荷重作用による構造物の応答を表す諸量）
Rd：照査用限界値（＝R／γb）
R：限界値（照査項目に対応して，目標性能を満足するために必要とする諸量）
γa：構造解析係数，γb：部材係数，γi：構造物係数</td></tr>
<tr><td>b）使用限界状態</td></tr>
<tr><td>c）疲労限界状態</td><td>(沈埋トンネルでは,作用による疲労の影響は小さいものと考えられ,疲労限界状態に対する照査は実施しない．)</td></tr>
<tr><td>d）修復限界状態</td><td>【告示】
第七十七条(水底トンネルの性能規)
水底トンネルの性能規定は､次の各号に定めるものとする.
三　主たる作用がレベル二地震動及び火災による火熱である偶発状態に対して，作用による損傷の程度が限界値以下であること.</td></tr>
</table>

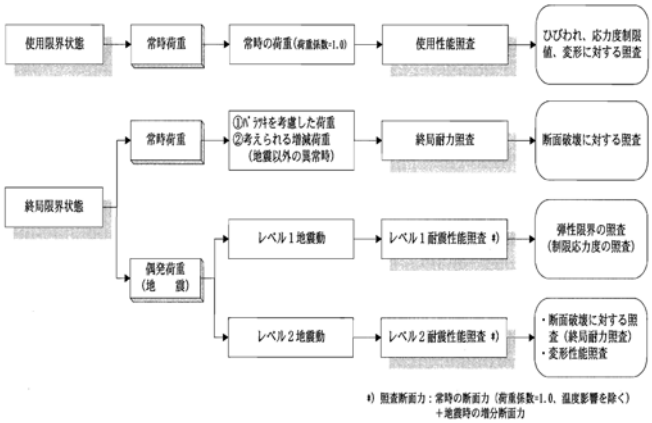


図-4.1.1限界状態設計法による照査体系

<table>
<tr><td rowspan="5">照査方法</td><td rowspan="5">照査項目
（限界状態）</td><td>終局状態の照査</td><td>【マニュアル】
限界状態の設定による照査は，部分安全係数法によることを標準とする．部分安全係数法による照査式は一般に式(4.1.1)のとおりである．これは，照査項目ごとに応答値が限界値に到達しないことを確認するものである．
γi・Sd ／ Rd ≦ 1．0　　(4.1.1)

ここで，　Sd：照査用応答値（＝S・γa）
S：応答値（照査項目に対応して，荷重作用による構造物の応答を表す諸量）
Rd：照査用限界値（＝R／γb）
R：限界値（照査項目に対応して，目標性能を満足するために必要とする諸量）
γa：構造解析係数，γb：部材係数，γi：構造物係数

表-4.1.1 限界状態設計法に用いる安全係数の標準値
<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">荷重ケース
安全係数</td><td rowspan="3">使用限界状態</td><td colspan="5">終局限界状態</td></tr>
<tr><td rowspan="2">地震時以外</td><td colspan="4">地震時</td></tr>
<tr><td>レベル1</td><td colspan="3">レベル2</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>横断・縦断方向</td><td>縦断方向</td><td colspan="2">横断方向</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>制限応力度の照査*1)</td><td>終局耐力の照査</td><td>破壊モードの判定</td><td>終局耐力の照査</td></tr>
<tr><td rowspan="3">材料係数</td><td>コンクリート γ_c</td><td>1.0</td><td>1.3</td><td rowspan="3">1.0</td><td colspan="3">1.3</td></tr>
<tr><td>鉄筋 γ_s</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0/1.2*2)</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td>鋼材 γ_s</td><td>1.0</td><td>1.05</td><td>1.05</td><td>1.05/1.2*2)</td><td>1.05</td></tr>
<tr><td rowspan="4">部材係数 γ_b</td><td>曲げ，軸方向耐力</td><td>1.0</td><td>1.15</td><td>1.0</td><td>1.15</td><td>1.0</td><td>1.15</td></tr>
<tr><td>軸圧縮耐力の上限値</td><td>1.0</td><td>1.3</td><td>－</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">せん断</td><td>コンクリート</td><td>1.0</td><td>1.3</td><td>－</td><td colspan="3">1.3</td></tr>
<tr><td>鋼材</td><td>1.0</td><td>1.15</td><td>－</td><td colspan="3">1.15</td></tr>
<tr><td colspan="3">構造解析係数 γ_a</td><td>1.0</td><td colspan="5">1.0</td></tr>
<tr><td colspan="3">構造物係数 γ_i</td><td>1.0</td><td>1.2
(異常時 1.0)</td><td colspan="5">1.0</td></tr>
</table>
*1) 構成材料に発生する応力度で照査を行う．発生応力度の制限値は表-4.1.2 による．
*2) 破壊モードの判定に用いる材料係数は，曲げ耐力の算定に実引張降伏強度（材料規格値の 1.2 倍程度の値）を考慮して，1.05/1.2 とした（「コンクリート標準示方書　耐震設計編」に準拠）．

表-4.2.11 沈埋および陸上トンネル部の目標性能と照査項目の例
<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>目標性能</th><th>照査項目</th></tr>
<tr><td rowspan="2">地盤物の安定と構造</td><td>常時</td><td>(1)構造物の浮力に対する安定
(2)地盤の支持力に対する構造物の安定
(3)地盤の沈下に対する構造物の安定</td><td>(1)構造物の浮き上がり
(2)地盤の支持力(地耐力)
(3)地盤の弾性沈下，圧密沈下</td></tr>
<tr><td>地震時</td><td>(4)地盤の液状化に対する安定
(5)地盤の変形と側方流動に対する安定</td><td>(4)過剰間隙水圧による構造物の浮き上がり
(5)大変形に対する構造物の断面耐力</td></tr>
<tr><td rowspan="2">構造部材の性能</td><td>常時</td><td>(6)外荷重に対する耐荷性能，変形性能
(7)耐久性
(8)止水性（本体および継手）
(9)トンネル火災に対する安全性，復旧性</td><td>(6)発生断面力に対する断面耐力，曲げ破壊先行モード，変形
(7)鋼材の腐食およびコンクリートのひび割れ，材料の劣化
(8)漏水
(9)耐火工</td></tr>
<tr><td>地震時</td><td>(10)地震動に対する耐荷力
(11)止水性（本体および継手）</td><td>(10) 発生断面力に対する断面耐力，曲げ破壊先行モード，変形性能
(11)漏水の程度，復旧性</td></tr>
<tr><td>地構盤造と部構材造の物性の能安定</td><td>施工時</td><td>(12)沈埋函の浮遊時～曳航時～沈設時の安定
(13)沈埋函の製作時～沈設時に作用する施工時荷重に対する耐荷性能，変形性能
(14)陸上トンネル部の施工時の安定
(15)沈埋函を陸上トンネル部に直接水圧接合する場合における施工時荷重に対する耐荷力および安定</td><td>(12)乾舷量，沈設時仮支持時の浮き上がり，曳航時の回転と沈みこみ
(13)発生応力度および変形
(14)浮力が作用しない場合の地盤の支持力
(15)陸上トンネルに発生する応力度および滑動・沈下</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>疲労限界状態の照査</td><td>－</td></tr>
<tr><td>修復限界状態の照査</td><td>【港湾基準】
損傷（当該施設の構造及び構造形式に応じて照査項目が異なることを考慮して包括的に示す）</td></tr>
<tr><td>施工時の照査</td><td>【マニュアル】
沈埋函コンクリートの浮遊打設時における，波浪や風の影響検討
沈埋函を台船に載せて運搬する際の，台船の安定性および函体の固縛方法
沈設直後の沈埋函の浮き上がりに対する安全性
沈埋函曳航時の波浪の影響</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="8">作用と荷重</td><td colspan="2">基本的考え方</td><td>【マニュアル】
沈埋トンネルの構造物の性能照査に用いる荷重等の作用は，照査すべき構造性能に応じて設定する．
沈埋トンネルの構造物の性能を照査するための地震動以外の荷重等の作用は，設計供用期間中に作用するものを適切に組み合わせて設定する．
トンネル横断方向の地震動以外の荷重等の作用は，図－4.1.2を標準とする．
トンネル本体製作から完成までの施工時の荷重等の作用は，適切に組合せて設定する．
荷重作用は，構造物の置かれる状態に応じて適切な荷重係数で組合せる．設計者は目標性能および構造物のおかれる状態を考慮して荷重係数を適切に設定しなければならない．</td></tr>
<tr><td rowspan="7">荷重作用の種類</td><td>a）死荷重</td><td rowspan="7">【マニュアル】
地震動以外の荷重等の作用には，一般に以下のものがあり，これらを目標性能に応じて適切に組み合わせて設定する．

① 自重
② 上載荷重
③ 活荷重・衝撃荷重
④ 土圧
⑤ 静水圧
⑥ 地盤反力
⑦ 地盤の沈下の影響
⑧ 温度変化の影響
⑨ 施工時の荷重（函内外の艤装品重量，函内設備重量を含む）
⑩ コンクリートのクリープ，乾燥収縮の影響
⑪ プレストレスによる荷重
⑫ 火災
⑬ 腐食
⑭ その他（津波，投走錨，沈船，爆発など）

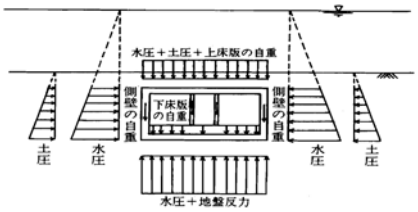
 

図-4.1.2 トンネル横断方向の荷重作用分布

既往の各指針で規定されている荷重係数値を参考にして設定した標準値を地震動も含めて表－4.1.3に示す．

表-4.1.3 荷重の組合せと荷重係数
<table><tr><td colspan="3" rowspan="2">分類
荷重</td><td colspan="2">使用限界状態</td><td colspan="4">終局限界状態</td></tr><tr><td colspan="2">アプローチ部</td><td colspan="2">沈埋部</td><td colspan="2">地震動以外</td><td colspan="2">地震動</td></tr><tr><td colspan="3"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">アプローチ部</td><td colspan="2">沈埋部</td><td>レベル1地震動</td><td>レベル2地震動</td></tr><tr><td rowspan="8">永久荷重</td><td colspan="2">自重1（本体の重量）</td><td colspan="2">1.0</td><td colspan="2">0.9～1.1</td><td colspan="2">1.0</td></tr><tr><td colspan="2">自重2（舗装、路床ﾌﾟﾗｽﾄなど）</td><td colspan="2">1.0</td><td>1.0 ～1.2</td><td>0.8 ～1.2</td><td colspan="2">1.0</td></tr><tr><td colspan="2">上載土圧（鉛直土圧）</td><td colspan="2">1.0</td><td colspan="2">0.9 ～1.1</td><td colspan="2">1.0</td></tr><tr><td colspan="2">側方土圧（水平土圧）</td><td>0.7 ～1.0*1)</td><td>1.0</td><td>0.6 ～1.2</td><td>0.8 ～1.2</td><td colspan="2">1.0</td></tr><tr><td rowspan="4">水圧*2)</td><td rowspan="2">陸上部</td><td>異常時 G.L.</td><td colspan="2">－</td><td colspan="2">1.0</td><td colspan="2">－</td></tr><tr><td>異常時以外 H.W.L.</td><td colspan="2">1.0</td><td colspan="2">0.9 ～1.1</td><td colspan="2">1.0</td></tr><tr><td rowspan="2">海上部</td><td>異常時 H.H.W.L.</td><td colspan="2">－</td><td>－</td><td>1.0</td><td colspan="2">－</td></tr><tr><td>異常時以外 H.W.L.</td><td colspan="2">1.0</td><td>－</td><td>1.1</td><td colspan="2">1.0</td></tr><tr><td colspan="3">地盤反力</td><td colspan="2">1.0</td><td colspan="4">1.0</td></tr><tr><td colspan="3">温度の影響</td><td>1.0 *2)</td><td>1.0</td><td>1.0 *2)</td><td>1.0</td><td colspan="2">－</td></tr></table>*1) 仮設土留めが残置される場合があることを考慮し，荷重係数に範囲を設けた．
*2) U型擁壁の場合，温度影響を考慮しない．
*3) 終局限界状態（地震以外）では，各部材で断面力が厳しくなる水圧荷重を取扱う．
なお，異常時の構造物係数γ_iは1.0とする．</td></tr>
<tr><td>b）活荷重</td></tr>
<tr><td>c）風作用</td></tr>
<tr><td>d）地震作用</td></tr>
<tr><td>e)波浪等の作用</td></tr>
<tr><td>f)地盤作用</td></tr>
<tr><td>g)衝撃作用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料の設計用値</td><td colspan="2">a）鋼材</td><td>（特に記載なし）</td></tr>
<tr><td colspan="2">b）コンクリート</td><td>（特に記載なし）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">構造設計方法</td><td colspan="2">構造解析方法</td><td>【港湾基準】
3.4 性能照査
(1) 沈埋トンネル部の安定性の検討
① 沈埋トンネル部の構造の安定性の検討は、トンネル部が軸方向に相当長くなるので、軸直角方向の検討のみでなく、軸方向の検討も行わなければならない。
② 一般に、沈埋トンネルの軸直角方向については、沈埋トンネル本体をラーメン構造として扱い、また、沈埋トンネルの軸方向については、地盤をばねとした弾性支床上の梁と考えて検討することができる。

【マニュアル】
トンネル横断方向の断面力は，トンネル横断面をラーメン構造として扱い，線形解析手法を用いて算定してよい．
トンネル縦断方向の断面力は，地盤をばねとした弾性支床上の梁と考え，温度変化，地盤沈下などの作用を組み合わせて算定する．可撓性継手がある場合には，その特性を考慮する．</td></tr>
<tr><td colspan="2">部材・断面強度（座屈強度、疲労強度等を含む）</td><td>【マニュアル】
鋼殻構造：鋼殻構造は，構造的には鉄筋コンクリート式である．主たる構造部材は鉄筋コンクリートであり，鋼殻は曳航時の外殻，コンクリート打設時の型枠，供用時の防水鋼板としての役割を持ち，設計上強度部材としては考慮しない．
鋼コンクリート合成構造：構造部材の一部あるいはすべてに鋼とコンクリートの合成部材を用いたもの．
オープンサンドイッチ式：函体外面が鋼板で，内部は鉄筋コンクリート構造．外面鋼板を防水鋼板および鉄筋代わりの構造部材として活用するため，鉄筋コンクリート構造に比べて鉄筋が大幅に低減される．
鋼板とコンクリート間のずれ力に対しては，スタッド字ベル等で抵抗させる．
フルサンドイッチ式：函体外面・内面ともに鋼板を用いたもの．内外鋼板を防水鋼板および鉄筋代わりの構造部材として活用するため，鉄筋が不要になる．
せん断力に対してはウェブとコンクリートで，鋼板とコンクリート間のずれ力に対しては，シアコネクタとダイアフラムで抵抗させる．</td></tr>
<tr><td rowspan="4">構造物、部材の照査方法</td><td>終局限界状態の照査</td><td rowspan="4">【マニュアル】
限界状態の設定による照査は，部分安全係数法によることを標準とする．部分安全係数法による照査式は一般に式(4.1.1)のとおりである．これは，照査項目ごとに応答値が限界値に到達しないことを確認するものである．
$\gamma_i \cdot Sd \ / \ Rd \leqq 1.0$ (4.1.1)</td></tr>
<tr><td>使用限界状態の照査</td></tr>
<tr><td>疲労限界状態の照査</td></tr>
<tr><td>修復限界状態の照査</td></tr>
</table>

4.5　電力土木分野、送電・通信施設関係分野、エネルギー施設分野の設計法の現状

4.5.1　水力発電用鋼構造物（水門扉）の設計法

(1)概要

本節では，代表的な水力発電用鋼構造物の１つである水門扉を対象に，当該構造物の構造設計に関連する基準類の主な特徴について述べる（**表-4.5.1** 参照）．同表の取り纏めにあたっては，水力発電分野の民間規格として代表的な基準の１つである「水門鉄管技術基準」[1)]（以下，基準）を参照した．

(2)設計の基本

a)設計対象・範囲

本基準は，発電用に限らず，農業用・港湾用等の水門扉ならびにそれに付帯する設備に適用される．ただし，扉体材料がアルミニウム製・FRP 製・ゴム製の設備は適用外とされている．

b)設計供用期間

本基準には，特に明記はされていないが，実務上は，構造物がその目的と機能を十分に果たすべき期間を考慮して適切に定められている．

c)要求性能

水門扉は，確実に開閉し，考慮すべき荷重に対して安全であること，かつ必要な水密性および耐久性を有する構造であること，有害な振動が生じないこと，操作が確実で保守管理が容易であることが要求される．

(3)限界状態

構造または部材が過度の変形，変位，振動等を起こし，扉体の開閉操作の信頼性に支障をきたすような状態等，正常な使用ができなくなる使用限界状態が想定されている．

(4)照査方法

水門扉の設計は, 確実に機能を発揮するよう, 応力度, たわみ度や座屈等の項目について照査し, 安全性を確認しなければならないとされている．

(5)作用と荷重

a)基本的考え方

扉体の設計には，自重，静水圧，開閉力，地震時慣性力，地震時動水圧泥圧，波圧，浮力，風荷重，雪荷重，温度荷重，氷圧，水撃圧等を,「常時」,「地震時」に応じて適当に組み合わせて用いることとなっている．これらのうち，原則として考慮する荷重は，自重，静水圧，開閉力，地震時慣性力，地震時動水圧であり，必要に応じて考慮する荷重は，泥圧，波圧，浮力，風荷重，雪荷重，温度荷重，氷圧，水撃圧等と規定されている．

b)死荷重

下記の項目が考慮される．

①自重：扉高さが径間の約 1/10 以下の水門扉について考慮する．

②静水圧：貯留水による静水圧は，扉体との接触面に対し垂直に作用するものとする．

③泥圧：泥圧は，鉛直方向にあっては堆泥の水中における重量をとるものとして算出する．

④雪荷重：雪荷重は，雪の単位体積重量と積雪深との積として求める．設計に用いる積雪深は，既往の積雪記録，構造物上での積雪状態等を考慮して設定する．

⑤氷圧：氷圧は，寒冷地におけるダム，堰等で水門扉に凍結防止装置を取り付けない場合に考慮する．氷圧は，現地における気温の上昇率，氷厚，両岸の状況，結氷面に対する直射日光の度合い等，種々の条件に応じて考慮する．

c)活荷重

水門扉の開閉荷重は，扉体重量（バラスト重量を含む），支承部摩擦力，水密ゴム摩擦力，堆泥による摩擦力，浮力，越流水による上向力・下向力，下端放流時の上向力・下向力等を考慮して適切に定めるものとしている．

d)地震作用

①震度法により設計する．設計震度は，河川管理施設等構造令施工規則および設置場所を考慮して適切に定める．

②地震時に扉体に作用する動水圧は，扉体との接触面に対して垂直に作用するものとし，一般に Zanger の実験式または Westergaard の簡易式によって求める．

③扉体に作用する地震時慣性力は，水平方向に作用するものとして算出する．

e)波浪等の作用

風や地震により発生する波による圧力は，基本的には堰・防潮水門等の本体の構造計算に用いる値とするが，ゲートが設置される場所等を考慮して定めるものとする．

f)衝撃作用

放流管の一部が発電用水圧鉄管と供用される場合，水車の負荷変動・急閉塞により生じる水撃作用による圧力（水撃圧）を考慮しなければならないと定められている．

g)温度作用

温度荷重は，水門扉等が，その伸縮を拘束される状態になったときの温度に対して，その後の温度変化を考慮して定める．また水門扉では，一般に無負荷状態で温度変化があっても扉体が伸縮するだけであるが，荷重を受けた状態で扉体の温度が変化する場合には，扉体や戸当たりに過大な温度荷重が作用することがあるため，その影響を軽減する対策を講じる必要があると定められている．

(6)材料の設計用値

a)鋼材

水門扉等に使用する材料は，要求される物理的および化学的性質（強度，じん性，溶接性，耐食性，耐磨耗性等）を有するものと明記されている．水門扉等の主要部材には，原則として，基準に明記された基準に明記された JIS/ASTM/ISO/DIN/EN 規格番号に示す材料またはこれと同等以上の性質を有する材料を使用することとしている．

b)コンクリート

コンクリート標準示方書に従うものと定められている．

(7)構造設計方法

a)構造解析方法

基準には具体的な記述はないが，部材あるいは部位毎に梁・板殻理論による応力算定が行われている．スキンプレートに生じる曲げ応力については，DIN の応力算定式が引用されているが，フランジ付きの桁で支持されているスキンプレートの応力を算定するにあたって，応力評価式を用いずに，実際の構造物に近いモデルを用いた有限要素法解析を採用してもよいこととなっている．

b)部材・断面強度

水門扉の設計は，確実に機能を発揮するよう，応力度，たわみ度や座屈について照査し，安全性を確認することとされている．

①応力度

扉体等の強度計算に使用する応力評価手法は，公式により与えられている．具体的には，許容軸方向引張応力度及び許容曲げ引張応力度，許容軸方向圧縮応力度（局部座屈を考慮しない許容応力度，圧縮フランジの局部座屈に対する許容応力度等），許容曲げ圧縮応力度，許容せん断応力

度及び許容支圧応力度について明記されている．

②許容たわみ度

扉体の曲げによるたわみ度は，構造物としての必要な剛性・水密性・動的安定性及び操作時の安全性を考慮して，形式ごとに径間に対する許容値が定められている（例えば水門扉（ゴム水密）では，純径間に対して 1/800）．

③その他の設計条件

構造物全体としての剛性を確保する必要から，最小板厚，最大細長比，許容たわみ量を考慮することが必要とされており，扉体の接水する部材および磨耗の恐れのある部材については余裕厚を見込むことが通例となっている．また，有害な振動（流れによって生じる自励振動）を防止する観点から，ゲートリップ部（ゲート底面）の形状や放流開度の範囲に配慮を加えてるものとしている．

(8)構造物，部材の照査方法

使用限界状態の照査については，構造物または部材の変位・応力・振動等が，構造物の機能，使用性，および耐久性を損なわないことを，静的解析等により照査するものとなっている．また，水門扉等の耐震設計については，過去の多くの経験から，レベル１の地震動に対して震度法・許容応力度法により照査を行えば，通常必要な耐震性を備えているとしている．

4.5.2　送電用鉄塔の設計法

(1)概要

本節では，送電用鉄塔の耐風設計に関わる基準類の主な特徴について述べる（**表-4.5.1** 参照）なお，同表の取り纏めにあたっては，設計に関わる各項目のうち，風荷重評価の考え方については，電気事業大で平成 17 年に取り纏められた「送電用鉄塔の風荷重指針・同解説」[2)]を参照した．また，構造設計・照査法等については，「電気設備に関する技術基準を定める省令・同技術基準の解釈について」[3)]（以下，電技，電技解釈）ならびに「送電用支持物設計標準 JEC127-1979」（以下，JEC）[4)]を参照した．

(2)設計の基本

a)設計対象・範囲

「送電用鉄塔の風荷重指針・同解説」（以下，指針案）では，特別高圧架空送電線路に使用される送電用鉄塔を設計対象としている．また，強風の作用に対して送電線路が弾性的に挙動することを前提とした風荷重を対象としており，着雪時荷重・作業時荷重等は設計範囲に含まれていない．

b)設計供用期間

指針案等に，特に明記はされていないが，実務上，風向別基本風速の設定において，10 分間平均風速の全風向 50 年再現期間値を上限としていることから，50 年間が，構造物がその目的とする機能を十分に果たすべき最低限の供用期間と見なすことができる．

c)要求性能

電技によれば，架空電線路又は架空電車線路の支持物の材料及び構造は，その支持物が支持する電線等による引張荷重，風速 40m/秒の風圧荷重及び当該設置場所において通常想定される気象の変化，振動，衝撃その他の外部環境の影響を考慮し，倒壊のおそれがないよう，安全なものであることが要求性能として明記されている．

(3)限界状態

JEC によれば，弾性設計ベースであるが，構造物・部材の実際の挙動からみれば，大変形，大変位等を起こし，機能や安定を失う状態を終局限界状態として想定していると考えられる．

(4)照査方法

JEC によれば，すべての設計風速等に対して発生応力度を算定し，その最大値が許容応力度以下となるよう定められている．

(5)作用と荷重

a)基本的考え方

指針案では，設計風荷重を算定するにあたって，送電用鉄塔の立地点における風向別による風速，周辺地形や粗度の状況や送電線路の動的特性等の影響を取りいれたものとなっている．評価する荷重は，風によって生じる風圧荷重，架渉線張力荷重であり，固定荷重は別途考慮する必要があることが明記されている．

b)死荷重

JEC によれば，下記の項目が考慮されている．

① 固定荷重（支持物や架渉線の重量，がいしおよび架線金具の重量）

② 無風時の架渉線張力による水平角度荷重および鉛直荷重(JEC)

c)風荷重

指針案によれば，設計風速は，8 風向の風向別基本風速に当該対象地点の地表面粗度，小地形による増速効果および気象学的増速効果を考慮して，5 度ピッチ，72 風向について定められている．風向別基本風速は，高温季，低温季別とし，計 16 種類のマップが用意されている．小地形による増速効果については，2 次元地形による増速率図を用い，詳細検討が必要な場合には，気流解析を利用できるものとしている．また，荷重評価に必要な，乱れの強さ，乱れのスケールについては日本建築学会建築物荷重指針・同解析に準ずるものとされている．

風圧荷重の算定には，設計用速度圧にガスト影響係数，風力係数，受風面積を乗じる手法を原則とする．鉄塔風圧荷重，架渉線風圧荷重，架渉線張力荷重およびがいし・架渉金具風圧荷重を算定し，これらの各荷重を水平角度，鉛直角度，非同時性の影響を考慮して適切に組み合わせることにより，設計用風荷重が定められている．

d)地震作用

JEC によれば，送電用鉄塔は，風や着氷雪による荷重で設計されていれば通常は地震に対しても十分な強度を保有することになるとしている．

(6)材料の設計用値

JEC によれば，鉄塔に用いる材料の設計用値等には，JIS に制定された適切な鋼材またはこれに準ずる構造用鋼材を用いるものとしている．

(7)構造設計方法

a)構造解析方法

JEC によれば，鉄塔上部構造物の応力算定に関しては，通常は静的解析が実施される．

①鉄塔は弾性体として取り扱い，その構造に応じて適切と考えられる方法によって応力を算定する．

②骨組構造にあっては，通常，骨組線図より応力を算定するものとする．また平面解析を行う場合には，これを平面骨組の集合として骨組を同一平面に展開したものを用いる．

③トラス鉄塔の節点はピン接合とみなす．

動的解析は，鉄塔の重要度，経済性等を勘案し，風の平均風速分布，乱れの強さ分布，鉄塔・架渉線の連成効果等の影響を考慮して，鉄塔各部材の発生応力度を詳細検討したい場合等に実施される．動的解析手法としては，応答を確率・統計的に求めるスペクトル解析手法と，時刻暦応答解析手法が挙げられている．

b)部材・断面強度

JEC によれば，設計用荷重に対して，支持物を構成する諸材料が降伏的変形をしないことを限度とする動的挙動を念頭においた静的弾性設計方式としている．

(8)構造物，部材の照査方法

すべての設計風速に対して発生応力度を算定し，その最大値が許容応力度以下となるように設計される．線路の重要性，経済性を考慮し，より詳細に変位，断面力，応力度を評価したい場合には，動的応答解析を用いることができるとされている．

参考文献

1)社団法人水門鉄管協会：水門鉄管技術基準，水門扉編－付解説－，2007.
2)石川智巳，松浦真一：「送電用鉄塔の風荷重指針・同解説(2005)」の概要と設計支援ツール,電気現場技術,Vol.45,No.532, pp.15-21, 2006.
3)経済産業省：電気設備技術基準・解釈早分かり，オーム社，2007.
4)電気学会：送電用支持物設計標準 JEC-127,1979.

表-4.5.1 設計基準類の比較（水力発電用鋼構造物，送電用鉄塔）

設計基準類			水門鉄管技術基準 （平成9年） 水門扉編(水圧鉄管・鉄鋼構造物編)	送電用鉄塔の風荷重指針（案） 鉄塔 風荷重以外は，以下を参照 ・電気設備技術基準（電技） ・送電用鉄塔設計標準（JEC127-1979）
設計の基本	a）設計対象・範囲		本基準は、発電用・農業用・港湾用等の水門扉等に適用する。ただし、扉体材料がアルミニウム製・FRP製・ゴム製の設備は適用外とする。 ＜設計の基本＞ ①水密性を有すること。②扉体の開閉が容易かつ確実であること。③扉体に使用する材料は、扉体に必要な化学的成分及び機械的性能を有するものであること。④扉体の自重、静水圧、動水圧、泥圧、地震力、浮力、開閉力及び水圧による応力ならびにこれらの荷重のうち動水圧及び地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。⑤扉体の開閉の際に、危険な振動がないこと。⑥扉体は、座屈しない構造であること。⑦扉体に加わる荷重を堤体等に安全に伝える構造であること。⑧扉体の開閉に異常が発生した場合に当該扉体を確実に停止できること。⑨扉体の作動状況を操作員に対して知らせるための装置を設けること。	本指針案では、特別高圧架空送電線路に使用される送電用鉄塔に適用する。また、強風の作用に対して送電線路が弾性的に挙動することを前提とした風荷重を対象としており、着雪時荷重・作業時荷重などは対象としていない。
	b）設計供用期間		本基準には、特に明記はされていないが、実務上は、構造物がその目的と機能を十分に果たすべき期間を考慮して適切に定めている。	指針案等には、特に明記はされていないが、実務上、風向別基本風速の設定において、10分間平均風速の全風向50年再現期間値を上限としていることから、50年間が、構造物がその目的とする機能を十分に果たすべき最低限の供用期間と見なすことができる.
	c）要求性能		水門扉は、確実に開閉し、考慮すべき荷重に対して安全であること、かつ必要な水密性および耐久性を有する構造であること、有害な振動が生じないこと、操作が確実で保守管理が容易であることが要求される。	架空電線路又は架空電車線路の支持物の材料及び構造は，その支持物が支持する電線等による引張荷重，風速40m/秒の風圧荷重及び当該設置場所において通常想定される気象の変化，振動，衝撃その他の外部環境の影響を考慮し，倒壊のおそれがないよう，安全なものであるよう設計することを基本とする（電技）。
限界状態	a）終局限界状態			弾性設計ベースであるが、構造物・部材の実際の挙動からみれば、大変形、大変位等を起こし、機能や安定を失う状態を限界状態として想定していると考えられる(JEC)。
	b）使用限界状態		構造または部材が過度の変形、変位、振動等を起こし、扉体の開閉操作の信頼性に支障をきたすような状態など、正常な使用ができなくなる状態を想定している。	
	c）疲労限界状態			
	d）修復限界状態			
照査方法	照査項目 （限界状態）	終局状態の照査		すべての設計風速等に対して発生応力度を算定し、その最大値が許容応力度以下となるようにする。
		使用限界状態の照査	水門扉の設計は、確実に機能を発揮するよう、応力度、たわみ度や座屈などの項目について照査し、安全性を確認しなければならないとされている。	
		疲労限界状態の照査		
		修復限界状態の照査		
作用と荷重	基本的考え方		扉体の設計には、自重、静水圧、開閉力、地震時慣性力、地震時動水圧泥圧、波圧、浮力、風荷重、雪荷重、温度荷重、氷圧、水撃圧などを、「常時」、「地震時」に応じて適当に組み合わせて用いることとなっている。これらのうち，原則として考慮する荷重は、自重、静水圧、開閉力、地震時慣性力、地震時動水圧であり、必要に応じて考慮する荷重は、泥圧、波圧、浮力、風荷重、雪荷重、温度荷重、氷圧、水撃圧などと規定されている。	本指針案では、設計風荷重を算定するにあたって、送電用鉄塔の立地点における風向別による風速、周辺地形や粗度の状況や送電線路の動的特性などの影響を取りいれたものとなっている。評価する荷重は、風によって生じる風圧荷重、架渉線張力荷重であり、固定荷重は別途考慮する必要があることが明記されている。
	荷重作用の種類	a）死荷重	a. 自重：扉高さが径間の約1/10以下の水門扉について考慮する。 b. 静水圧：貯留水による静水圧は、扉体との接触面に対し垂直に作用するものとする。 c. 泥圧：泥圧は、鉛直方向にあっては堆泥の水中における重量をとるものとして算出する。 d. 雪荷重：雪荷重は、雪の単位体積重量と積雪深との積として求める。設計に用いる積雪深は、既往の積雪記録、構造物上での積雪状態などを考慮して設定する。 e. 氷圧：氷圧は、寒冷地におけるダム、堰等で水門扉に凍結防止装置を取り付けない場合に考慮する。氷圧は、現地における気温の上昇率、氷厚、両岸の状況、結氷面に対する直射日光の度合いなど、種々の条件に応じて考慮する。	a. 固定荷重（支持物や架渉線の重量、がいしおよび架線金具の重量） b. 無風時の架渉線張力による水平角度荷重および鉛直荷重(JEC)
		b）活荷重	水門扉の開閉荷重は、扉体重量（バラスト重量を含む）、支承部摩擦力、水密ゴム摩擦力、堆泥による摩擦力、浮力、越流水による上向力・下向力、下端放流時の上向力・下向力などを考慮して適切に定める。	
		c）風作用		設計風速は、8風向の風向別基本風速に当該対象地点の地表面粗度、小地形による増速効果および気象学的増速効果を考慮して、5度ピッチ、72風向定めている。風向別基本風速は、高温季、低温季別とし、計16種類のマップを用意した。小地形による増速効果については、2次元地形による増速率図を用い、詳細検討が必要な場合には、気流解析を利用できるものとしている。また、荷重評価に必要な、乱れの強さ、乱れのスケールについては日本建築学会建築物荷重指針・同解析に準じている。 風圧荷重の算定には、設計用速度圧にガスト影響係数、風力係数、受風面積を乗じる手法を原則とする。鉄塔風圧荷重、架渉線風圧荷重、架渉線張力荷重およびがいし・架渉金具風圧荷重を算定し、これらの各荷重を水平角度、鉛直角度、非同時性の影響を考慮して適切に組み合わせ、設計用風荷重を定めている。

設計基準類			水門鉄管技術基準 （平成9年） 水門扉編(水圧鉄管・鉄鋼構造物編)	送電用鉄塔の風荷重指針（案） 鉄塔 風荷重以外は，以下を参照 ・電気設備技術基準（電技） ・送電用鉄塔設計標準（JEC127-1979）
作用と荷重	荷重作用の種類	d）地震作用	a. 震度法により設計する。設計震度は、河川管理施設等構造令施工規則および設置場所を考慮して適切に定める。 b. 地震時動水圧荷重：地震時に扉体に作用する動水圧は、扉体との接触面に対して垂直に作用するものとし、一般にZangerの実験式またはWestergaardの簡易式によって求める。 c. 地震時慣性力：扉体に作用する地震時慣性力は、水平方向に作用するものとして算出する。	送電用鉄塔は、風や着氷雪による荷重で設計されていれば通常は地震に対しても十分な強度を保有することになるとしている(JEC)。
		e)波浪等の作用	風や地震により発生する波による圧力は、基本的には堰・防潮水門当の本体の構造計算に用いる値とするが、ゲートが設置される場所等を考慮して定めるものとする。	
		f)地盤作用		
		g)衝撃作用	放流管の一部が発電用水圧鉄管と供用される場合、水車の負荷変動・急閉塞により生じる水撃作用による圧力（水撃圧）を考慮しなければならない。	
		h)温度作用	温度荷重は、水門扉等が、その伸縮を拘束される状態になったときの温度に対して、その後の温度変化を考慮して定める。また水門扉では、一般に無負荷状態で温度変化があっても扉体が伸縮するだけであるが、荷重を受けた状態で扉体の温度が変化する場合には、扉体や戸当たりに過大な温度荷重が作用することがあるため、その影響を軽減する対策を講じる必要がある。	
材料の設計用値	a）鋼材		水門扉等に使用する材料は、要求される物理的および化学的性質（強度、じん性、溶接性、耐食性、耐磨耗性等）を有するものと明記されている。水門扉等の主要部材には、原則として、基準に明記された基準に明記されたJIS/ASTM/ISO/DIN/EN規格番号に示す材料またはこれと同等以上の性質を有する材料を使用する。	鉄塔等には、JISに制定された適切な鋼材またはこれに準ずる構造用鋼材を用いるものとする(JEC)。
	b）コンクリート		コンクリート標準示方書に従う。	
構造設計方法	構造解析方法		基準には具体的な記述はないが、部材あるいは部位毎に梁・板殻理論による応力算定が行われている。スキンプレートに生じる曲げ応力については、DINの応力算定式が引用されているが、フランジ付きの桁で支持されているスキンプレートの応力を算定するにあたって、応力評価式を用いずに、実際の構造物に近いモデルを用いた有限要素方解析を採用してもよいこととなっている。	鉄塔上部構造物の応力算定に関しては、通常は静的解析が実施される。 ① 鉄塔は弾性体として取り扱い、その構造に応じて適切と考えられる方法によって応力を算定する。 ② 骨組構造にあっては、通常、骨組線図より応力を算定するものとする。また平面解析を行う場合には、これを平面骨組の集合として骨組を同一平面に展開したものを用いる。 ③ トラス鉄塔の節点はピン接合とみなす。 動的解析は、鉄塔の重要度、経済性などを勘案し、風の平均風速分布、乱れの強さ分布、鉄塔・架渉線の連成効果などの影響を考慮して、鉄塔各部材の発生応力度を詳細検討したい場合などに実施される。動的解析手法としては、応答を確率・統計的に求めるスペクトル解析手法と、時刻暦応答解析手法がある(JEC)。
	部材・断面強度（座屈強度、疲労強度等を含む）		水門扉の設計は、確実に機能を発揮するよう、応力度、たわみ度や座屈について照査定し、安全性を確認することになっている。 a. 応力度 扉体などの強度計算に使用する応力評価手法は、公式により与えられている。具体的には、許容軸方向引張応力度及び許容曲げ引張応力度、許容軸方向圧縮応力度（局部座屈を考慮しない許容応力度、圧縮フランジの局部座屈に対する許容応力度など）、許容曲げ圧縮応力度、許容せん断応力度及び許容支圧応力度について明記されている。 b. 許容たわみ度 扉体の曲げによるたわみ度は、構造物としての必要な剛性・水密性・動的安定性及び操作時の安全性を考慮して、形式ごとに径間に対する許容値が定められている（例えば水門扉（ゴム水密）では、純径間に対して1/800）。 c. その他の設計条件 全体構造物としての剛性を確保する必要から、最小板厚、最大細長比、許容たわみ量を考慮することが必要とされており、扉体の接水する部材および磨耗の恐れのある部材については余裕厚を見込むことが通例となっている。また、有害な振動（流れによって生じる自励振動）を防止する観点から、ゲートリップ部（ゲート底面）の形状や放流開度の範囲に配慮を加えている。	設計用荷重に対して、支持物を構成する諸材料が降伏的変形をしないことを限度とする動的挙動を念頭においた静的弾性設計方式としている(JEC)。
構造物、部材の照査方法	終局限界状態の照査			すべての設計風速に対して発生応力度を算定し、その最大値が許容応力度以下となるように設計する。線路の重要性、経済性を考慮し、より詳細に変位、断面力、応力度を評価したい場合には、動的応答解析を用いることができる。
	使用限界状態の照査		使用限界状態の照査は、構造物または部材の変位・応力・振動等が、構造物の機能、使用性、および耐久性を損なわないことを、静的解析などにより照査するものとなっている。また、水門扉等の耐震設計については、過去の多くの経験から、レベル1の地震動に対して震度法・許容応力度法により照査を行えば、通常必要な耐震性を備えていると考えられている。	
	疲労限界状態の照査			
	修復限界状態の照査			

4.5.3　塔状鋼構造物設計指針・同解説

(1) 概要

本指針は，照明塔，通信塔，観覧塔，広告塔などの鉄塔類および鋼製煙突，その他塔状をなした鋼構造物の構造設計に適用するものである（**表-4.5.2** 参照）．許容応力度設計であるため限界状態としての定義は必ずしも明記されていないが，限界状態としてあてはめることができると思われるものは表中に記入した． 設計供用期間については明記されていないが，建築物荷重指針をベースにしていることから，その中に記述されている再現期間 100 年を供用期間と考えられる．限界状態として記述があると思われるものは疲労限界状態と修復限界状態であり，たわみは使用目的に応じて支障のない程度とすること，構造物の使用年数に応じて繰り返し応力の影響を考慮することが規定されている．特徴的な荷重として，風の動的効果，地震荷重，氷雪荷重，繰り返し応力，温度変化による応力が規定されている．

(2) 設計の基本

a) 設計対象・範囲

本指針は，照明塔，通信塔，観覧塔，広告塔などの鉄塔類および鋼製煙突，その他塔状をなした鋼構造物の構造設計に適用するものである．送電鉄塔・鉄柱は建築基準法の適用外であると明記している．

b) 設計供用期間

本基準には特に明記はされていないが，建築物荷重指針をベースとしていることから，再現期間 100 年を供用期間にしていると考えられる．

c) 要求性能

特に明記されていない．

(3) 限界状態

特に明記されていないが，照査方法から推測すると，使用目的に応じて支障のない程度のたわみとする使用限界状態，構造物の耐用年数に応じて繰り返し応力の影響を考慮する疲労限界状態が想定されている．

(4) 照査方法

使用目的に応じて支障のない程度のたわみ，構造物の耐用年数に応じて繰り返し応力の影響を考慮することが規定されている．

(5) 作用と主な荷重

a) 基本的考え方

原則として，建築基準法および日本建築学会「建築物荷重規準案」の定めるところによる．架渉線および支線のある構造物にあっては，温度，氷雪による影響を考慮する必要があることが記載されている．

b) 風作用

振動を生じやすい構造物に対しては，風の動的効果を考慮する．

c) 地震作用

地震動の動的な影響を与えて，構造物の安全性を確かめるのが望ましい．

d) 温度作用

温度変化によって特に大きい応力が生じる構造物では，その影響を考慮する．

(6)材料の設計用値

a) 鋼材

「鋼構造設計規準」４章の規定に準拠する．

b) コンクリート

関連設計規準の規定に準拠.

(7) 構造設計方法

a) 構造解析方法

応力の算定は，原則として弾性計算による.

b) 部材・断面強度

応力の組み合わせは,「鋼構造設計規準」に従う．構造各部の断面は，さび・腐食を考慮して設計する.

(8) 構造物，部材の照査方法

発生応力を計算し，その最大値が許容応力度以下となるように設計する.

4.5.4 通信鉄塔設計要領・同解説

(1) 概要

本要領は,鋼構造の通信鉄塔および反射板の計画及び設計に適用するものである(**表-4.5.2** 参照).本要領も許容応力度設計であるため，限界状態として定義は必ずしも明記されていないが，使用限界状態に関しては，たわみ及びねじれの許容値が空中線の大きさ等に応じた許容値以下とすると規定されている．また，荷重に対しては，暴風雨，地震，積雪等に対して充分な強度と耐力を有していなければならないとし，気象庁等の観測データから，既往最大風速，積雪量を調査した上で荷重を決定する必要があるとしている．既往データのみでは不充分と判断されるときは実測が必要である場合もあるとの記述もある.

(2) 設計の基本

a) 設計対象・範囲

国土交通省等が設置する鋼構造の通信鉄塔及び反射板の計画及び設計に適用する.

b) 設計供用期間

特に明記はされていない.

c) 要求性能

通信回線を構成するために必要な鉄塔としての要件として，各方路向けの空中線を搭載するスペースと強度を有すること，台風，地震等の短期的な荷重に対し，ねじれ，たわみ等が許容値以内となるような充分な剛性を有することが記述されている.

(3) 限界状態

特に明記されていない.

(4) 照査方法

鉄塔部材およびボルト類等の許容応力度は，許容応力度以下にしなければならない．また，たわみ及びねじれは，空中線の大きさ等に応じた許容値以下にすることが規定されている.

(5) 作用と主な荷重

a) 基本的考え方

暴風雨，地震，積雪等の荷重に対しても充分な強度と耐力を有していなければならない．このため，気象庁等の観測データから，周辺の既往最大の風速や積雪量を調査して積雪の沈降力等の荷重に対しても配慮が必要である.

b) 風作用

地域毎に定める基準風速に基づく風圧荷重を考慮し，必要な通信機能を確保しなければならない．また，シリンダー構造の鉄塔に関しては，カルマン渦による自励振動に対し，構造的に健全であること，基礎については，暴風時に対して支持，転倒および滑動に対して安全であるとともに，変位は許容以下であることを規定している.

c) 地震作用

鉄塔の固有周期及び建物の固有周期に基づく応答を考慮した耐震設計法により地震荷重を求めるものとする．しかし，高さが 60mを超えるような大型鉄塔では，動的解析を行なうことを標準とした．

(6) 材料の設計用値

a) 鋼材

JIS 規格および JIS 規格相当品等を使用するものとする．

b) コンクリート

鉄塔基礎に使用する鉄筋コンクリート部材の設計規準強度は 24N/mm^2，使用する鉄筋はSD345 を標準とする．

(7) 構造設計方法

a) 構造解析方法

地震力および風荷重を水平荷重に置き換えて，通信鉄塔を弾性構造物として取り扱い立体解析を行い，応力および変形を求める．なお，塔高が 60m を超える大型鉄塔では，動的解析を行なって構造耐力の安全を確認する．

b) 部材・断面強度

各荷重による応力を組み合わせて求めるものとする．ただし，地震荷重と風荷重の組み合わせは行なわないものとする．

(8) 構造物，部材の照査方法

発生応力を計算し，その最大値が許容応力度以下となるように設計する．

表-4.5.2 設計基準類の比較（塔状鋼構造、通信鉄塔）

設計基準類			塔状鋼構造設計指針・同解説 1980（日本建築学会）	通信鉄塔設計要領・同解説 （社）建設電気技術協会 平成15年版
設計の基本	a）設計対象・範囲		本指針は，照明塔・通信塔・観覧塔・広告塔などの鉄塔類および鋼製煙突類，その他塔状をなした鋼構造物の構造設計に適用する． 送電鉄塔・鉄柱は建築基準法の適用外と明記． 明記されていない点は，日本建築学会「鋼構造設計規準」その他関連ある規準または指針による．	国土交通省等が設置する鋼構造の通信鉄塔及び反射板の計画及び設計に適用する．
	b）設計供用期間		特に明記されていない．	特に明記されていない．
	c）要求性能			通信回線を構成するために必要な鉄塔としての要件として，各方路向けの空中線を搭載するスペースと強度を有すること，台風，地震等の短期的な荷重に対し，ねじれ，たわみ等が許容値以内となるような充分な剛性を有することが記述されている．
限界状態	a）終局限界状態			
	b）使用限界状態			
	c）疲労限界状態			
	d）修復限界状態			
照査方法	照査項目 （限界状態）	終局状態の照査		鉄塔部材及びボルト類等の設計応力度は，許容応力度以下にしなければならない．
		使用限界状態の照査	たわみは，使用目的に応じて支障のない程度とする．	たわみ及びねじれは，使用する周波数，空中線の大きさ等に応じた許容値以下に設計しなければならない．
		疲労限界状態の照査	構造物の使用年数に応じて繰り返し応力の影響を考慮する．	
		修復限界状態の照査		
作用と荷重	基本的考え方		原則として，建築基準法および日本建築学会「建築物荷重規準案」の定めるところによる． 架渉線および支線のある構造物にあっては，温度，氷雪による影響を考慮する必要があることが明記されている．	暴風雨，地震，積雪等の荷重に対しても充分な強度と耐力を有していなければならない．このため，気象庁等の観測データから，周辺の既往最大の風速や積雪量を調査して積雪の沈降力等の荷重に対しても配慮が必要である．
	荷重作用の種類	a）死荷重		固定荷重は，通信鉄塔及び反射板の重量とし，積載荷重は空中線及び反射板板面の支持枠等の載荷物の重量とする．
		b）活荷重		
		c）風作用	振動を生じやすい構造物に対しては，風の動的効果を考慮する．	地域毎に定める基準風速に基づく風圧荷重を考慮し，必要な通信機能を確保しなければならない． また，シリンダー構造の鉄塔に関しては，カルマン渦による自励振動に対し，構造的に健全であること． 基礎については，暴風時に対して，支持，転倒及び滑動に対して安全であるとともに，変位は許容以下であることを規定している．
		d）地震作用	地震動の動的な影響を与えて，構造物の安全性を確かめるのが望ましい．	鉄塔の固有周期及び建物の固有周期に基づく応答を考慮した耐震設計法により地震荷重を求めるものとする．しかし，耐震設計法では，固有周期を概算し，鉄塔骨組を静的荷重に置き換えて行っているため，高さが60mを超えるような大型鉄塔では，動的解析を行うことを標準とした． 基礎については，レベル1地震時に対して，支持，転倒及び滑動に対して安全であるとともに，変位は許容以下であることを規定している．
		e)波浪等の作用		
		f)地盤作用		
		g)衝撃作用		
		h)温度作用	温度変化によって特に大きい応力が生じる構造物では，その影響を考慮する．	
材料の設計用値	a）鋼材		鋼材については，「鋼構造設計規準」4章の規定に準拠する．JISに適合するものであること，材料の定数も規定されている．	JIS規格およびJIS規格相当品等を使用するものとする．
	b）コンクリート		関連設計規準の規定に準拠．	鉄塔基礎に使用する鉄筋コンクリート部材の設計規準強度は24N/mm2，使用する鉄筋はSD345を標準とする．
構造設計方法	構造解析方法		応力の算定は，原則として弾性計算による． 送電用鉄塔の①～③の記述と同じ．	地震力および風荷重を水平荷重に置き換えて，通信鉄塔を弾性構造物として取り扱い立体解析を行い，応力及び変形を求める． なお，塔高が60mを超える大型鉄塔では，動的解析を行って構造耐力の安全を確認する． 応力解析において，主柱材は，連続して曲げ，軸力を考慮したモデルとし，斜材，水平材は，ピン結合と見なし応力を算定する．
	部材・断面強度（座屈強度、疲労強度等を含む）		応力の組み合わせは，「鋼構造設計規準」に従う．また，架渉線および支線のある構造物にあっては，平均温度時ならびに最低温度時における架渉線および支線の引張力による応力を加算する．架渉線および支線に着氷（または着雪）が生じる場合には受風面積の増大を考慮する． 構造各部の断面は，さび・腐食を考慮して設計する．	各荷重による応力を組み合わせて求めるものとする．ただし，地震荷重と風荷重の組合せは行わないものとする．
構造物、部材の照査方法	終局限界状態の照査		発生応力を計算し，その最大値が許容応力度以下となるように設計する．	発生応力を計算し，その最大値が許容応力度以下となるように設計する．
	使用限界状態の照査			
	疲労限界状態の照査			
	修復限界状態の照査			

4.5.5　パイプラインの設計法

(1)概要

本節では、ガス、石油等の埋設パイプラインを対象とし、その構造設計に関する基準類の主な特長について述べる。代表的な技術基準としては、構造や内圧、土荷重、地震等に対する全般的な設計基準を規定する「石油パイプライン技術指針（案)」、「ガス工作物技術基準の解釈例」と、地震動や液状化に特化した設計基準である「高圧ガス導管耐震設計指針」、「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」がある（**表-4.5.3** 参照)。以下、特徴的な内容に付いて記す。

(2)設計の基本

a)設計対象・範囲

「ガス工作物技術基準の解釈例」はガスパイプラインを含むガス工作物全般について規定している。「高圧ガス導管耐震設計指針」および「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」は埋設された高圧導管の耐震設計に特化した指針である。一方、「石油パイプライン技術指針（案)」は、耐震設計も含めた石油パイプラインの設計全般を単独の基準として扱っている。

b)設計供用期間

基準類には設計供用期間は明記されていないが、実務上は 50 年程度を想定している。

c)要求性能

パイプラインの基本的な要求性能は、設置される状況に応じて作用する種々の外乱に対して、内容物を輸送するための一定の容量を確保し、気密性を保持することである。耐震設計においては、「高圧ガス導管耐震設計指針」や「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」では、レベル１地震動に対して「被害が無く、修理することなく運転に支障がない」、レベル２地震動や液状化による永久地盤変状に対して「導管に変形は生じるが、漏洩は生じない」ことを要求性能としている。

(3)限界状態

ガスパイプラインも石油パイプラインも常時作用する主荷重（内圧、土圧、自動車荷重）に対しては弾性範囲で設計され、基本的な考え方は同じである。地震時の耐震設計に関しては、石油パイプラインの基準である「石油パイプライン技術指針（案)」とガスパイプラインの技術基準である「高圧ガス導管耐震設計指針」や「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」では、扱いが異なる。「石油パイプライン技術指針（案)」では限界状態設計の概念を導入しておらず、許容応力を割り増して弾性設計を行なうのに対し、「高圧ガス導管耐震設計指針」や「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」では、「運転に支障となるような過度の変形を生じた状態」を使用限界状態、「貫通亀裂を生じ漏洩に至るような状態」を終局限界状態としている。また、地震動による低サイクル疲労に対して「亀裂を生じ漏洩に至るような状態」を疲労限界状態と置いている。

(4)照査方法

地震動によるパイプラインの歪や変位を算定し、耐座屈性、耐破壊性を有するかを照査している。疲労に対しては、レベル１地震動については５０回まで、レベル２地震動に対しては２～３回まで疲労破壊が起きないことをＡＳＭＥの設計疲労曲線を使って照査している。

(5)作用と荷重

a)基本的考え方

「ガス工作物技術基準の解釈例」では、内圧、土圧、自動車荷重について算定方法を具体的に例示している。耐震設計は「高圧ガス導管耐震設計指針」や「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」で評価するものとし、地震動による地盤の応答変位や、液状化による地盤変状を考慮した設計を行う。

b)死荷重

主に下記の項目が考慮される。

①内圧：最高使用圧力
②土圧：パイプラインの上に載る土荷重
③輸送物重量：石油等

c)活荷重

自動車荷重として、TR-20 を考慮している。

d)地震作用

「高圧ガス導管耐震設計指針」では、地震動による地盤の応答変位を考慮している。「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」では、液状化による地盤変状を考慮している。「石油パイプライン技術指針（案）」では埋設部に対しては応答変位法、地上部に対しては震度法を適用している。

(6)材料の設計用値

a)鋼材

導管に使用する材料は、「最高使用温度および最低使用温度において、材料に及ぼす化学的および物理的影響に対し、設備の種類、規模に応じて安全な機械的性質を有するもの」（省令）と明記している。これに適合する材料として基準に規格番号が明記されている、これと同等以上の性質を有する材料を使用する。

(7)構造設計方法

a)構造解析方法

ガスパイプラインも石油パイプラインも常時作用する主荷重（内圧、土圧、自動車荷重）に対する応力算定式あるいは必要管厚算定式が、「ガス工作物技術基準の解釈例」、「石油パイプライン技術指針（案）」に示されている。いずれも、基本的にはリングの式を基本にしている。地震時にパイプラインに働く変位に関する解析は、「石油パイプライン技術指針（案）」、「高圧ガス導管耐震設計指針」、「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」とも、地盤ばねで支持された梁モデルを基本としている。

b)部材・断面強度

内圧、土圧、自動車荷重に対しては、パイプラインに発生する応力が許容応力以下になるよう最小管厚を算定する。耐震設計においては、地震動による地盤の応答変位および液状化による地盤の変状を基にパイプラインの歪および変位を算定し、それらが座屈や破壊に対する許容値を超えないことを照査する。

c)構造物、部材の照査方法

地震動によるパイプラインの歪や変位を算定し、耐座屈性、耐破壊性を有するかを照査している。疲労に対しては、レベル１地震動については５０回まで、レベル２地震動に対しては２～３回まで疲労破壊が起きないことをＡＳＭＥの設計疲労曲線を使って照査している。

表-4.5.3 設計基準類の比較(パイプライン関連)

設計基準類			天然ガスパイプライン（導管） ガス工作物技術基準の解釈例［ガス技］ 高圧ガス導管耐震設計指針［ガス耐震］ 高圧ガス導管液状化耐震設計指針［液状化耐震］	石油パイプライン 石油パイプライン技術基準（案）［石パ］
設計の基本	a）設計対象・範囲		［ガス技］パイプライン（圧力・設置形態を問わず）を含むガス工作物全体を対象。 ［ガス耐震、液状化耐震］埋設設置の高圧導管（設計圧力1MPa以上）の耐震設計に特化した指針。	道路下に設置する石油パイプラインの計画、設計、施工等に関する技術基準。
	b）設計供用期間		明記されていないが、実務上、パイプラインがその目的と機能を十分に果たすべき期間を考慮して50年程度を想定している。	特に明記されていないが、実務上は、パイプラインがその目的と機能を十分に果たすべき期間を考慮して50年程度を想定している。
	c）要求性能		［ガス技］要求性能を「供用中の荷重並びに最高使用温度及び最低使用温度における最高使用圧力に対して適切な構造（省令）」とし、解釈例でその詳細（管厚、材料等）を例示。 ［ガス耐震、液状化耐震］レベル1地震動に対して「被害が無く、修理することなく運転に支障がない」、レベル2地震動および液状化による永久地盤変状に対して「導管に変形は生じるが、漏洩は生じない」。	工事完了後の操業時、工事中、他工事による荷重に対しても十分安全性を確保するため、以下を基本とする。 ①主荷重による応力度の合計が許容応力度を超えない。 ②主荷重による応力度といずれか一つの従荷重によって生じる応力度の合計値が割増を考慮した許容応力度を超えない。 ③①及び②の場合において、円周方向応力度、軸方向応力度、せん断応力度を合成した値が、一定の値を超えてはならない
限界状態	a）終局限界状態		［ガス技］通常作用する荷重に対しては、弾性設計ベース。 ［ガス耐震、液状化耐震］地震荷重については、限界状態を想定した設計。導管に貫通亀裂が発生し、漏洩に至る状態を想定している。	弾性設計範囲で検討。いわゆる限界状態設計の考えを取っていない。
	b）使用限界状態		［ガス耐震、液状化耐震］導管が過度の変形を起こし、パイプラインの運転に支障をきたすような状態など、正常な使用ができなくなる状態を想定。	同上
	c）疲労限界状態		地震動による低サイクル疲労によって、導管に亀裂が発生し、漏洩に至る状態を想定している。（ガス耐震）	疲労についてを考慮していない。
	d）修復限界状態		指針には特に明示していないが、使用限界状態＝修復限界状態と考えられる。	弾性設計範囲で考えている。いわゆる限界状態設計の考えを取っていないが、導管に塑性変形が残こり、運転に支障が出るような状態を限界状態と考えていると想定される。
照査方法	照査項目（限界状態）	終局状態の照査	［ガス技］内圧、土圧、自動車荷重に対して許容応力以内となるよう管厚を設定しており、限界状設計の考えを取っていない。 ［ガス耐震］地震動による管歪みを算定し、耐座屈性、耐疲労破壊性を照査。 ［液状k耐震］液状化時の管の許容変形を算定し、耐破壊性を照査。	主荷重および他工事、温度荷重、地震など従荷重との組み合わせにおいて導管に発生する応力に対し、それぞれ設定される許容応力を超えないよう照査。
		使用限界状態の照査	［ガス技］内圧、土圧、自動車荷重に対して許容応力以内となるよう管厚を設定。 ［ガス耐震］地震動による管歪みを算定し、耐座屈性、耐疲労破壊性を照査。	同上
		疲労限界状態の照査	［ガス耐震］地震動による管歪みを算定し耐疲労破壊性を照査。レベル1地震動には供用期間中50回まで、レベル2地震動には供用期間中2～3回まで疲労破壊しないことをASMEの設計疲労曲線を使って照査。	疲労限界状態を考慮していない。
		修復限界状態の照査	使用限界状態の照査と同じ	使用限界状態の照査と同じ。

設計基準類			天然ガスパイプライン（導管） ガス工作物技術基準の解釈例【ガス技】 高圧ガス導管耐震設計指針【ガス耐震】 高圧ガス導管液状化耐震設計指針【液状化耐震】	石油パイプライン 石油パイプライン技術基準（案）【石パ】
作用と荷重	基本的考え方		【ガス技】埋設導管に働く荷重として、内圧、土圧、自動車荷重については算定方法を具体的に例示している。耐震設計については、ガス技、ガス耐震で別途評価している。その他の荷重（温度荷重などについては具体的な算定手法や評価手法を例示していない。 【ガス耐震】地震動による地盤の応答変位を考慮。 【液状化耐震】液状化によって生じる地盤変状を考慮。	主荷重および他工事、温度荷重、地震など従荷重との組み合わせにおいて導管に発生する応力に対し、それぞれ設定される許容応力を超えないよう照査。
	荷重作用の種類	a）死荷重	【ガス技】 内圧：（最高使用圧力） 土圧：（導管の上に載る土の荷重を考慮）	内圧：（最高使用圧力） 土圧：（導管の上に載る土の荷重を考慮） 輸送される石油の重量 導管及びその付属物の重量
		b）活荷重	自動車荷重（ＴＲ－２０）	自動車荷重（ＴＲ－２０）
		c）風作用	風荷重に関する具体的な例示なし。	地上設置される部分には、風荷重（150kgf/m2）を考慮。
		d）地震作用	【ガス耐震】地震動による地盤の応答変位を考慮。 【液状化耐震】液状化によって生じる地盤変状を考慮。	埋設導管については、地震時に働く地震動による地盤の応答変位を考慮。地上設置の導管については、震度法に基づく。
		e)波浪等の作用	波浪等に関する具体的例示なし。	海底設置する場合、波浪等の影響を考慮するよう規定しているが、数値や算定法の具体的例示なし。
		f)地盤作用	【液状化耐震】液状化によって生じる地盤変状を考慮。	沈下の影響のないところに設置することを前提としているため、地盤変位による影響の具体的な例示なし。
		g)衝撃作用	衝撃作用に関する具体的例示なし。	衝撃作用に関する具体的例示なし。
		h)温度作用	温度作用に関する具体的例示なし。	導管設置時から温度変化による導管の伸縮によって生じる応力を考慮。
材料の設計用値	a）鋼材		導管に使用する材料は、「最高使用温度及び最低使用温度において材料に及ぼす化学的及び物理的影響に対し、設備の種類、規模に応じて安全な機械的性質を有するもの」（省令）と明記している。 具体的には、強度、じん性、溶接性、耐食性、耐磨耗性等を示すものと考えられる。これに適合する材料として基準に規格番号が例示されており、これと同等以上の性質を有する材料を使用する。	導管に使用する材料として、基準に規格番号が例示されており、これと同等以上の性質を有する材料を使用する。
	b）コンクリート		パイプラインの材料としては、鋼管を対象とするため、 コンクリートに関する具体的記述はない。	パイプラインの材料としては、鋼管を対象とするため、 コンクリートに関する具体的記述なし。

設計基準類		天然ガスパイプライン（導管） ガス工作物技術基準の解釈例【ガス技】 高圧ガス導管耐震設計指針【ガス耐震】 高圧ガス導管液状化耐震設計指針【液状化耐震】	石油パイプライン 石油パイプライン技術基準（案）【石パ】
構造設計方法	構造解析方法	【ガス技】内圧、土圧、自動車荷重に対する応力算定（最小管厚算定）は、リングの式を基本。 【ガス耐震】地震時の地震動による地盤変位によって発生する管歪みの算定は、地盤ばねで支持された梁モデルを 基本としている。 【液状化耐震】地震時の液状化による永久地盤変位によって発生する管歪みの算定は、地盤ばねで支持された梁モデルを基本としている。	内圧、土圧、自動車荷重に対する円周方向応力算定（最小管厚算定）は、リングの式を、温度変化の影響など軸方向横領算定については梁の理論に基づく。 地震時の地震動による地盤変位によって発生する管歪みの算定は、地盤ばねで支持された梁モデルを基本。
	部材・断面強度（座屈強度、疲労強度等を含む）	【ガス技】内圧、土圧、自動車荷重によって導管に発生する応力が、許容応力以下となるよう最小配管厚を算定。 【ガス耐震】地震時に働く地震動による地盤の応答変位を算定し、それを基に、地盤を介して導管が変位する際生じる管歪みを算定し、座屈および疲労破壊に対する許容歪みを超えないよう照査。 【液状化耐震】地震時の液状化によって生じる地盤変状を算定し、それに対する導管が変位を算定し、算定値が破壊に対する許容変位を超えないよう照査。	内圧、土圧、自動車荷重,温度変化、地震等によって導管に発生する応力を、リングの式や梁の式を基に算定し、各荷重の組み合わせごとに設定された許容応力に対して照査。
構造物、部材の照査方法	終局限界状態の照査	【ガス技】内圧、土圧、自動車荷重に対して許容応力以内となるよう管厚を設定しており、限界状設計の考えを取っていない。 【ガス耐震】地震動による管歪みを算定し、耐座屈性、耐疲労破壊性を照査。 【液状化耐震】液状化時の管の許容変形を算定し、耐破壊性を照査。	主荷重および他工事、温度荷重、地震など従荷重との組み合わせにおいて導管に発生する応力に対し、それぞれ設定される許容応力を超えないよう照査。
	使用限界状態の照査	【ガス技】内圧、土圧、自動車荷重に対して許容応力以内となるよう管厚を設定。 【ガス耐震】地震動による管歪みを算定し、耐座屈性、耐疲労破壊性を照査。	同上
	疲労限界状態の照査	【ガス耐震】地震動による管歪みを算定し耐疲労破壊性を照査。レベル1地震動には供用期間中50回まで、レベル2地震動には供用期間中2～3回まで疲労破壊しないことをASMEの設計疲労曲線を使って照査。	疲労限界状態を考慮していない。
	修復限界状態の照査	使用限界状態の照査と同じ。	使用限界状態の照査と同じ。

4.5.6 貯槽関連の設計法

(1) 概要

貯槽を対象とする代表的な技術基準・指針としては、「JIS B8501 鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）（平成7年（1995）7月）」,「球形ガスホルダー指針 (社)日本ガス協会（平成16年（2004）3月）」,「ＬＰＧ貯槽指針 (社)日本ガス協会（平成17年(2005)10月）」,「LNG地上式貯槽指針 JGA指-108-02 (社)日本ガス協会（平成14年(2002)8月）」,「容器構造設計指針（1996改定）日本建築学会」がある（**表-4.5.4** 参照）.

これら基準・指針に関係する法律または告示としては,「鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）」は危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示（自治省告示）,「球形ガスホルダー指針」・「ＬＰＧ貯槽指針」・「LNG地上式貯槽指針」はガス事業法／高圧ガス保安法もしくは電気事業法である.

貯槽に関係する技術基準・指針は，内容物，構造形式により適用される法律または告示が異なっているため，設計のスタンスが異なっているおり，要求性能として明確に記述されていない貯槽構造もあるが，例えば，平成12年10月のガス事業法の改正により詳細仕様を規定するものから，安全確保のための必要な性能を示す性能規定化の方向に動いている．特に耐震設計においては，阪神大震災以降の動きとして，レベル１地震動，レベル２地震動に対して要求性能が明確に示されている．特徴的な内容について以下に示す.

(2) 設計の基本

a) 設計対象

鋼製石油貯槽，球形ガスホルダー，ＬＰＧ貯槽，LNG 地上式貯槽などを対象とするが，自治省告示，ガス事業法／高圧ガス保安法もしくは電気事業法が適用され設計がなされている.

b) 設計供用期間

設計供用期間として特に明記されていないが，経年変化（疲労，腐食等）を考慮しているものあり，その際に貯槽の耐用年数を考慮することが述べられているものがある.

c) 要求性能

安全確保のための必要な性能を示す性能規定化の方向として，例えば,「LNG地上式貯槽指針」においては，目標性能として「耐荷性能」,「液密性能」,「気密性能」,「断熱性能」に分類されおり，それぞれの状態のおける性能として，1)常時における要求性能：基地内部・外部の人身と設備の安全を損なわない，ガス製造機能に支障をきたさない，2)レベル１地震動：基地外部の人身と設備の安全を損なわない，ガス製造機能に支障をきたさない，3)レベル２地震動：基地外部の人身と設備の安全を損なわない　などの規定がされている.

(3) 限界状態および照査方法

レベル２耐震性能において「変形が残留しても液密性及び気密性が保持される」こととし，ガスの気密性が保持されるように低サイクル疲労，座屈変形等を考慮して許容塑性率を定め，地震時の応答塑性率が許容塑性率を超えないことを規定し，それを照査することとしている.

(4) 作用と荷重

基準により考え方が異なるが，設計には，静荷重（長期荷重）と動荷重（短期荷重）の２つに分類されており，静荷重としては，1)貯槽の自重，2)貯槽液体による荷重，3)断熱材による荷重，４）積雪荷重が，動荷重としては，風圧力による荷重，地震動による荷重　などが規定されている.

荷重作用の内の地震作用において，貯槽構造に対する設計地震動は，貯槽を設置する地域と表層地盤の種別，さらに構造物の形状，振動特性を考慮して定める修正震度法に基づいている．また，レベル２地震動においては,「大きな地震動を与える可能性のある活断層の有無」を考慮され設計地震動が決定される手順となっている．また，内容物が液体の場合は，内溶液の動液圧に関係する加速度型地震動（短周期型）と液面動揺（スロッシング）に関係する変位型地震動（やや長周期型）についても規定がされている.

(5)　材料の設計用値

鋼材については，JIS，WES（日本溶接協会規格）等に制定された鋼材を用い許容応力度を定めている．ただし，許容応力度は，使用メタル温度に定め，それより高温側で使用する場合には，設計の応力や弾性係数を低減する基準を適用しているものがある．

(6)　構造設計方法と照査方法

通常の運転状態での荷重，レベル１地震に対しては，それぞれに設定されている荷重の組み合わせにより応力を算定して，許容応力度以下であることを照査することになっており，応力算定式等も示されている．

一方，レベル２地震に対しては，保有耐力設計法を適用することを基本とし，応答塑性率が許容塑性率を超えないことを照査することとなっている．

表-4.5.4 設計基準類の比較 （エネルギー：貯槽関係）

設計基準類			JIS B8501 鋼製石油貯槽の構造（全溶接製） （平成7年（1995）7月） （危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示（自治省告示第99号、昭和49年5月1日）	球形ガスホルダー指針 （社）日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成16年（2004）3月） （ガス事業法／高圧ガス保安法）	ＬＰＧ貯槽指針 （社）日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成17年(2005)10月） （ガス事業法／高圧ガス保安法）	LNG地上式貯槽指針 JGA指-108-02 （社）日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成14年(2002)8月） （ガス事業法／電気事業法）	容器構造設計指針（1996改定） 日本建築学会
設計の基本	a）設計対象・範囲		鋼製の全溶接縦円筒貯槽であり、固定屋根、浮屋根又は固定屋根付浮屋根を有し、大気温以上の温度、かつ、大気圧の下で液状の石油又はこれに類似する液体を、ほぼ大気圧下で貯蔵する貯槽構造について規定している。	原則としてガス事業の用に供する球形ガスホルダーについて適用する。	ＬＰＧ貯槽の計画、設計、建設及び維持管理に適用する。	LNG地上式貯槽の計画、設計、建設及び維持管理に適用する。 （ここでは、金属二重殻LNG貯槽について記述する）	水槽・サイロの構造設計全般および、球形タンク支持構造・地上たて型円筒貯槽・地下容器の耐震設計に適用する。
	b）設計供用期間		特に明記されていないが、「腐れ代」を考慮し、その際に貯槽の耐用年数を考慮することが述べられている。	特に明記されていない。	特に明記されていない。	特に明記されていない。 常時性能：「所定の強度を有する」の中に、経年変化（疲労、腐食等）が含まれている。	特に明記されていない。
	c）要求性能		要求性能として、明確に記述されていないが、設計対象とする貯槽が、地震、風荷重、積載荷重および基礎の状況に対して応じて安全に貯蔵できることが要求性能として挙げられる。特に、水島コンビナート石油事故、耐震設計に関して反映、考慮がなされている。	設計対象とするホルダーが、固定荷重、ガス荷重、地震荷重、風荷重、積雪荷重に対して安全に貯蔵できることが要求性能として挙げられる。 地震動に対しては、レベル1耐震性能として「有害な変形が残留せず、ガスの気密性が保持」されること、レベル2耐震性能として「変形等が残留しても、ガスの気密性が保持」されることとしている。	設計対象とするホルダーが、固定荷重、液荷重内圧荷重、積雪荷重（多雪地域））、地震荷重、風荷重、積雪荷重（一般地域）、試験荷重（耐圧試験時）に対して安全に貯蔵できることが要求性能として挙げられる。 地震動に対しては、レベル1耐震性能として「有害な変形が残留せず、ガスの気密性が保持」されること、レベル2耐震性能として「変形等が残留しても、ガスの気密性が保持」されることとしている。	目標性能は、「耐荷性能」、「液密性能」、「気密性能」、「断熱性能」に分類されている。 1）常時における要求性能：基地内部・外部の人身と設備の安全を損なわない、ガス製造機能に支障をきたさない 2）レベル1地震動：基地外部の人身と設備の安全を損なわない、ガス製造機能に支障をきたさない 3）レベル2地震動：基地外部の人身と設備の安全を損なわない	・水槽の形状はできるだけ単純な対称軸を有し、力学的にに明快なものとする。 ・配管などの開口部については、応力集中を考慮する。 ・水槽の内容水が急激に放出された場合に水槽内に有害な圧力低下が生じない構造とする。
限界状態	a）終局限界状態		弾性設計範囲で検討。いわゆる限界状態設計の考えを取っていない。	耐震設計（レベル2地震動）においては保有耐力設計法を適用することを基本とし、応答塑性率が許容塑性率を超えないこととしている。	耐震設計（レベル2地震動）においては保有耐力設計法を適用することを基本とし、応答塑性率が許容塑性率を超えないこととしている。	レベル2耐震性能において「変形が残留しても液密性及び気密性が保持される」ことしている。	弾性設計ベースであるが、耐震設計においては保有耐力設計法を適用することを基本とし、保有水平耐力・短期許容耐力が考慮されている。
	b）使用限界状態		弾性設計範囲で検討。	弾性設計範囲で検討。	弾性設計範囲で検討。	常時性能：「所定の強度を有する」、「液密性及び気密性が保持される」こと。 レベル1耐震性能：「有害な変形が残留しない」、「液密性及び気密性が保持される」	弾性設計範囲で検討。
	c）疲労限界状態		疲労については考慮していない。	疲労については考慮していない。	疲労については考慮していない。	常時性能：「所定の強度を有する」の中に、経年変化（疲労、腐食等が含まれている）	疲労についてを考慮していない。
	d）修復限界状態						
照査方法	照査項目 （限界状態）	終局状態の照査		耐震設計（レベル2地震動）においては、ガスの気密性が保持されるように許容塑性率を定め、地震時の応答塑性率が許容塑性率を超えないことを照査する。	耐震設計（レベル2地震動）においては、ガスの気密性が保持されるように許容塑性率を定め、地震時の応答塑性率が許容塑性率を超えないことを照査する。	レベル2耐震性評価では、耐震上重要な部材に生じる応答塑性率が許容塑性率を超えないことを照査する。	発生応力度が許容応力度以下であることを照査する。耐震設計においては保有耐力設計法を適用することを基本とし、短期許容耐力以下であることを照査する。
		使用限界状態の照査	発生応力度が許容応力度以下であることを照査する。	通常の運転状態及びレベル1耐震性評価は、それぞれに設定されている荷重の組み合わせにより応力を算定し、許容応力度以下であることを照査する。	通常の運転状態及びレベル1耐震性評価は、それぞれに設定されている荷重の組み合わせにより応力を算定し、許容応力度以下であることを照査する。	内槽の常時性能及びレベル1耐震性評価は、それぞれに設定されている荷重の組み合わせにより応力を算定し、照査する。	
		疲労限界状態の照査				繰返し回数と繰返し荷重により生じるひずみ振幅から設計疲労曲線から照査する。種々の荷重サイクルを受ける場合は、累積係数の条件を満足させる。	
		修復限界状態の照査					

表-4.5.4 設計基準類の比較 （エネルギー：貯槽関係）

設計基準類			JIS B8501 鋼製石油貯槽の構造（全溶接製） （平成7年（1995）7月） （危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示（自治省告示第99号、昭和49年5月1日）	球形ガスホルダー指針 (社)日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成16年（2004）3月） （ガス事業法／高圧ガス保安法）	ＬＰＧ貯槽指針 (社)日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成17年(2005)10月） （ガス事業法／高圧ガス保安法）	LNG地上式貯槽指針 JGA指-108-02 (社)日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成14年(2002)8月） （ガス事業法／電気事業法）	容器構造設計指針（1996改定） 日本建築学会
作用と荷重	基本的考え方		設計には、静荷重と動荷重の2つに分類されており、静荷重としては、1）貯槽の自重、2）貯槽液体による荷重、3）断熱材による荷重、4）積雪荷重が、動荷重としては、風圧力による荷重、地震動による荷重　が規定されている。	設計には、長期的荷重（固定荷重、ガス荷重、積雪荷重）、短期荷重（地震荷重、風荷重）が規定されている。	設計には、長期荷重（固定荷重、液荷重内圧荷重、積雪荷重（多雪地域））、短期荷重（地震荷重、風荷重、積雪荷重（一般地域）、試験荷重（耐圧試験時））が規定されている。	設計における荷重の種類として、1）通常荷重、2）地震荷重、3）風荷重、4）活荷重、5）その他の荷重が　が規定されている。	設計には、固定荷重、積載荷重、雪荷重、風荷重、地震荷重、内容物の移動による衝撃力、吸引力ならびに内容物により受ける圧力、熱応力、クレーンなどによる衝撃力、繰返し荷重にyる疲労、土圧・水圧、その他（例えば。動力伝達装置より受ける荷重）が規定されている。
	荷重作用の種類	a）死荷重	静荷重として、1）貯槽の自重、2）貯槽液体による荷重、3）断熱材による荷重、4）積雪荷重　が規定されている。 この内、積雪荷重に関しては、貯槽の水平投影面積当たりの荷重を求めるととし、積雪深さ、除雪・融雪の装置の有無、屋根こう配、屋根の水平投影面積の項目が反映されている。	固定荷重として、球形ガスホルダー本体及び本体に取り付けられる付属設備等の重量を考慮する。 また、ガス荷重として貯蔵能力に相当する貯蔵ガスの自重を考慮する。 積雪荷重に関しては、ホルダー及び付属設備等の投影面積とその地方における垂直積雪量を乗じて決定される。	固定荷重として、貯槽本体及び本体に取り付けられる付属設備等の重量を考慮する。 液荷重として最低使用温度における液密度による貯槽液の重量を考慮する。 また、内圧荷重として最高使用圧力に静液圧を加えたものを考慮する。積雪荷重に関しては、貯槽及び付属設備等の投影面積とその地方における垂直積雪量を乗じて決定される。	「通常荷重」として、1）自重、2）内槽ガス圧力、3）内外槽間ガス圧力、4）静液圧、5）保冷材圧力、6）温度荷重、7）積雪荷重を規定している。	固定荷重として、容器構造物の自重および容器の付属する配管、機器類を考慮する。
		b）活荷重				屋根の保守のための検査員と器具等の荷重が考慮されている。	
		c）風作用	動荷重の風圧力による荷重として規定されている。 風荷重は、形状係数、受圧面積（貯槽の鉛直投影面積）、風圧力（貯槽の地盤面からの高さ、地域補正係数）の項目が考慮されている。	風荷重は、速度圧、風力係数（形状により決定）、見付面積（受圧面積）の項目が考慮されている。	風荷重は、速度圧、風力係数（形状により決定）、見付面積（受圧面積）の項目が考慮されている。	風荷重は、風圧力（建築基準法施行令平成12年4月26日政令211号）、見付面積（受圧面積）により設定される。	構造物の形状・構造特性・建築地域および周辺の状況を考慮して算定（建築物荷重指針・同解説（1993）による）
		d）地震作用	設計地震動は、貯槽を設置する地域及び表層地盤の種別を考慮して定める。なお、設計地震動による地震荷重などの計算には貯槽の応答倍率を考慮する。 内溶液の動液圧に関係する速度型地震動と液面動揺（スロッシング）に関係する変位型地震動について述べられている。	ガスホルダー構造の設計地震荷重は、レベル1地震動、レベル2地震動ともに修正震度法によりものとしている。（日本ガス協会JGA指-101-01「製造設備等耐震設計指針」） レベル1地震動では、構造物の形状、振動特性を考慮し、時刻歴応答解析法も用いる。また、レベル2地震動においては、応答塑性率が許容塑性率を超えないことを確認する。	貯槽構造の設計地震荷重は、レベル1地震動、レベル2地震動ともに修正震度法によりものとしている。（日本ガス協会JGA指-101-01「製造設備等耐震設計指針」） レベル1地震動では、構造物の形状、振動特性を考慮し、時刻歴応答解析法も用いる。また、レベル2地震動においては、応答塑性率が許容塑性率を超えないことを確認する。	地震動として、第一設計地震動（）と第二設計地震動 が設定されている。 地震荷重として、 第一設計地震動に対しては、水平地震動による内槽等の慣性力・動液圧、鉛直地震動による内槽等の自重の増減分・動液圧、 第二設計地震動に対しては、地震動による動液圧、スロッシングによる波頭衝撃圧及び腰掛圧を規定している。	容器構造の設計地震荷重は、1）修正震度法、2）モード法によりものとしている。ただし、基礎部分の設計地震荷重は、震度法による。 内容物が液体の場合の自由重量に対する設計地震荷重は、内容液のスロッシング1次固有周期にに注目し、設計速度応答スペクトル値に基づく。
		e)波浪等の作用					
		f)地盤作用					
		g)衝撃作用	地震に作用する動液圧を衝撃圧として取り扱っている。				
		h)温度作用	熱膨張を拘束する結果、発生する熱応力を考慮する。 使用メタル温度を90゜Cを限度として定められており、高温側で使用する場合には、設計の応力や弾性係数を低減する。また、低温に使用する場合は、脆性破壊に対する危険を除くように設計メタル温度における衝撃試験を規定している。	夏期の日照による温度上昇、冬期の外気温低下・ガスの払出し時の温度低下を考慮する。	最高使用温度は、日最高気温の月平均値の最高値に操作中等の昇圧分に相当する温度を加えた温度、最低使用温度は、日最低気温の月平均値を考慮する。	「その他の荷重」として、クールダウン時等に発生する荷重を考慮することとしている。	

表-4.5.4 設計基準類の比較 （エネルギー：貯槽関係）

設計基準類		JIS B8501 鋼製石油貯槽の構造（全溶接製） （平成７年（1995）７月） （危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示（自治省告示第99号、昭和49年5月1日）	球形ガスホルダー指針 (社)日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成16年（2004）3月） （ガス事業法／高圧ガス保安法）	ＬＰＧ貯槽指針 (社)日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成17年(2005)10月） （ガス事業法／高圧ガス保安法）	LNG地上式貯槽指針 JGA指-108-02 (社)日本ガス協会 ガス工作物等技術基準調査委員会 （平成14年(2002)8月） （ガス事業法／電気事業法）	容器構造設計指針（1996改定） 日本建築学会
材料の設計用値	a）鋼材	JISに制定された鋼材を用い許容応力度を定める。 ただし、許容応力度は、使用メタル温度を90℃を限度として定められており、高温側で使用する場合には、設計の応力や弾性係数を低減する。	JIS、WES（日本溶接協会規格）に制定された鋼材を用い基準値Fを定める。	JIS、WES（日本溶接協会規格）に制定された鋼材を用い基準値Fを定める。	JISに制定された鋼材を用い、許容応力を定めている。 許容応力として、1）許容引張応力、2）耐震設計用許容応力、3）応力強さの種類と耐震設計用許容応力強さ　を規定している。	JISに制定された鋼材を用い、基準値Fを定める（鋼構造設計規準に準拠）
	b）コンクリート					「建設工事標準仕様書・同解説JASS5鉄筋コンクリート工事(1993)に従う。
構造設計方法	構造解析方法	基準には具体的な記述はないが、応力の算定は，弾性計算をベースにより算定されている。 貯槽本体各部の強度設計においては、1）元弁、配管など付属物の自重又はそれに基づく曲げモーメント、2）貯蔵液の温度の影響によって生じる本体の熱応力、3）設計地震動によって生じる動液圧を必要に応じて考慮して強度設計を行う。	基準には具体的な記述はないが、応力の算定は，弾性計算をベースにより算定されている。 レベル２地震動に対する耐震設計においては保有耐力設計法を適用することを基本としている。	基準には具体的な記述はないが、応力の算定は，弾性計算をベースにより算定されている。 レベル２地震動に対する耐震設計においては保有耐力設計法を適用することを基本としている。	レベル１耐震性評価における内槽の応力は、軸対象回転殻要素を用いた有限要素法等の適切な構造解析手法による。 内槽のレベル２耐震性評価では、内槽等を適切な振動系モデルに置き換えて通常の運転状態における設計地震動に関する応答解析を行い、耐震上重要な部材に生じる応答塑性率が許容塑性率を超えないことを確認する。	水槽構造には構造種別が多く、その構造形式も多岐にわたっており、 耐震設計においては保有耐力設計法を適用することを基本としていることから、、修正震度法、モード法のモデル化について解説されている。
	部材・断面強度（座屈強度、疲労強度等を含む）	発生応力度について照査することになっている。それぞれの作用荷重に対しての許容応力度と照査する。なお、地震に対しては、耐震設計用許容応力度を規定し、それを照査することになっている。	発生応力度について照査することになっている。それぞれの作用荷重に対しての許容応力度と照査する。なお、地震に対しては、耐震設計用許容応力度を規定し、それを照査することになっている。レベル２地震動に対する耐震設計における許容塑性率は、低サイクル疲労、座屈変形等の塑性変形を考慮することとされている。	発生応力度について照査することになっている。それぞれの作用荷重に対しての許容応力度と照査する。なお、地震に対しては、耐震設計用許容応力度を規定し、それを照査することになっている。レベル２地震動に対する耐震設計における許容塑性率は、低サイクル疲労、座屈変形等の塑性変形を考慮することとされている。	レベル１耐震性評価においては、内槽を軸対象回転殻要素を用いた有限要素法等の適切な構造解析手法により応力は算定して評価を行う。 レベル２耐震性評価では、内槽側板の座屈、内槽アンカーの降伏、内槽ノズルの損傷について評価を行う。	容器構造の設計は、発生応力度（座屈も考慮）について照査することになっている。それぞれの作用荷重に対して、1）長期許容応力度、2）短期容応力度（地震時以外）、3）地震時許容応力度を規定し、それを照査することになっている。
構造物、部材の照査方法	終局限界状態の照査		耐震設計（レベル２地震動）においては応答塑性率が許容塑性率を超えないことを照査する。	耐震設計（レベル２地震動）においては応答塑性率が許容塑性率を超えないことを照査する。	レベル２耐震性評価では、内槽側板の座屈、内槽アンカーの降伏、内槽ノズルの損傷について評価を行う。	耐震設計においては保有耐力設計法を適用することを基本としている。短期許容耐力から地震時許容応力度を規定し、それ以下であることを照査する。
	使用限界状態の照査	発生応力度が許容応力度以下であることを照査する	発生応力度が許容応力度以下であることを照査する。	発生応力度が許容応力度以下であることを照査する。	レベル１耐震性評価においては、内槽を軸対象回転殻要素を用いた有限要素法等の適切な構造解析手法により応力は算定し、許容応力度以下であることを照査する。	
	疲労限界状態の照査				繰返し回数と繰返し荷重、累積条件を考慮して、設計疲労曲線から照査する。	
	修復限界状態の照査					