道路施設構造物分野の設計法の変遷・現状・動向

WG3：土橋　浩、田中宏征
長山秀昭、松田一史
新美勝之

1

対象とした道路施設構造物

- 道路橋下部構造物
  - 基礎構造物（鋼管杭・鋼管矢板）
  - 鋼製橋脚

  } 道路橋示方書・同解説
- トンネル構造物
  - シールドトンネル ―― トンネル標準示方書
  - 沈埋トンネル ―― 港湾の施設に関する技術上の基準・同解説　沈埋トンネル技術マニュアル

2

道路橋基礎、鋼製橋脚の設計法の変遷1

明治	19年　国県道の築造基準	・道路構造に関する最初の基準
大正	8年　道路構造令、街路構造令	
	15年 道路構造に関する細則案	・許容応力度　・荷重種類 ・等級分類（3等級）
昭和	14年 鋼道路橋設計示方書案 鋼道路橋製作示方書案	・道路橋単独での最初の基準 ・SS41（σa=1300kgf/cm^2） ・設計震度（k_h=0.2、k_v=0.1） ・自動車荷重
	31年 鋼道路橋設計示方書 鋼道路橋製作示方書	・TL-20（一等橋），14（二等橋）
	32年 溶接鋼道路橋示方書	・SM41

3

道路橋基礎、鋼製橋脚の設計法の変遷2

昭和	39年 鋼道路橋設計示方書改訂	・50kg鋼（SS50、SM50） ・σa=1400, 1900kgf/cm^2
	39年 道路橋下部構造設計指針 「くい基礎の設計編」 41年「調査及び設計一般編」	・全8編を順次発行
	41年 鋼道路橋高力ボルト摩擦接合設計施工指針	・F9T、F11T
	48年 道路橋示方書・同解説 「Ⅰ共通編」、「Ⅱ鋼橋編」	・SM41～58 ・SMA（耐候性鋼）
	53年「Ⅲ コンクリート橋編」	道路橋示方書への統合
	55年「Ⅳ 下部構造編」 「Ⅴ 耐震設計編」	・5編からなる現体系が確立

4

道路橋基礎、鋼製橋脚の設計法の変遷3

昭和	59年 鋼管矢板基礎設計指針	・その後、H9年に改訂
	61年 杭基礎設計便覧	・その後、H4,19年に改訂 ・H4には杭基礎施工便覧発刊
平成	2年 道路橋示方書改訂	
	5年 道路橋示方書改訂	・TL-25
	8年 道路橋示方書改訂	・耐震設計大幅改訂 ・二段階設計、保耐法導入
	道路橋下部構造物に関する現行基準 14年 道路橋示方書改訂	・性能規定型基準を目指した改訂、要求事項と見なし適合仕様
	⇩ 本格的な性能規定型設計法への移行を予定	

5

トンネル構造物の設計法の変遷

昭和	39年トンネル標準示方書	・道路・電力・鉄道等の知見統合
	44年トンネル標準示方書改訂	・山岳トンネルを対象
	44年　シールド工法指針	・標準示方書制定の足がかり
	50年 沈埋トンネルの耐震設計指針(案)	
	52年トンネル標準示方書改訂（シールド編）、（山岳編）	・SS41,50, SM41,50, FCD45,50
	52年　開削トンネル指針	・標準示方書制定の足がかり
	61年トンネル標準示方書改訂（開削工法編）追加	・3編からなる現体系が確立
平成	6年 沈埋トンネル技術マニュアル	・H14年に改訂版発行
	8年トンネル標準示方書改訂	
	18年トンネル標準示方書	・限界状態設計への移行に向けた取り組み

6

設計法の現状

- 道路橋基礎・鋼製橋脚
- シールドトンネル
- 沈埋トンネル

1. 設計の基本
   - (a) 設計基準
   - (b) 設計供用期間
   - (c) 要求性能
2. 限界状態
3. 照査方法
4. 作用と荷重
5. 材料の設計用値
6. 構造設計法
7. 構造物、部材の照査方法

7

1. (c)要求性能

道路橋下部構造	シールドトンネル	沈埋トンネル
使用目的との適合性	使用性	使用性
構造物の安全性	安全性	供用性
耐久性	耐久性	修復性
施工品質の確保		
維持管理の容易さ		
環境との調和		
経済性		
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		

8

1. (c)要求性能

・道路橋示方書の要求性能

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。	

2. 限界状態；道路橋示方書

◆常時・暴風時の限界状態　　橋の力学特性が弾性域をこえない

◆レベル1地震時　　耐震性能1を確保(各部材の力学特性が弾性域)

◆レベル2地震時　　耐震性能ごとに部材の限界状態を設定

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	地震直後に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緊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	地震後にならない				

耐震性能2の場合

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. 限界状態；シールドトンネル

◆原則として終局限界状態、使用限界状態に区分

・終局限界状態の例

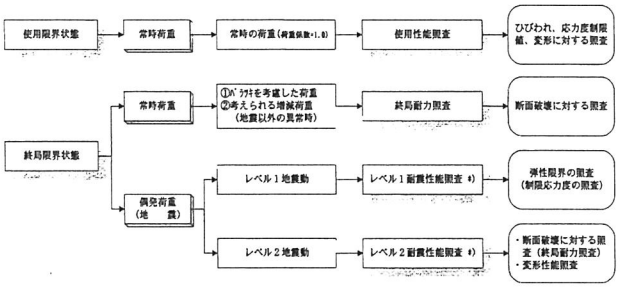
断面破壊の終局限界状態	セグメント本体や継手の断面が破壊する状態
構造破壊の終局限界状態	断面破壊が生じることでトンネルが崩壊に至る状態
変形の終局限界状態	構造物または部材の変形により耐荷能力を失う状態
安定の終局限界状態	トンネルが浮き上がり等により安定を失う状態

・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

2. 限界状態；沈埋トンネル

◆終局限界状態、使用限界状態



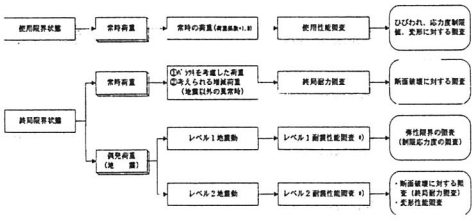
図－4.4.1　限界状態設計法による照査体系

沿岸技術研究センター：沈埋トンネル技術マニュアル(改訂版)(H14.8)より

3. 照査方法

	常時	レベル1	レベル2
道路橋基礎・鋼製橋脚	許容応力度設計法		基礎は地震時保有水平耐力法 鋼製橋脚は動的照査が標準
シールドトンネル	許容応力度設計法または限界状態設計法		限界状態設計法　$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1$

沈埋トンネル



4. 作用と荷重

◆道路橋下部構造

下部構造に対する一般的な荷重の組合せ

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	—

◆シールドトンネル

・終局状態の検討：施工中・供用期間中の最大荷重の期待値

・使用限界状態の検討：施工中・供用期間中にしばしば生じる大きさ

表-4.4.9　荷重係数の目安[3]

限界状態	土圧		側方土圧	水圧	地盤反力	自重	上載荷重	その他
	緩み土圧	全土被り圧	係数		係数			
終局限界状態	1.0~1.3 注1	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1) 鉛直土圧の下限値を採用する場合は 1.0 を用いてよい

4. 作用と荷重

◆沈埋トンネル

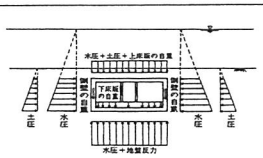


図-4.4.2　トンネル横断方向の荷重作用分布

表-4.4.10　荷重の組合せと荷重係数[3]

分類 / 荷重			使用限界状態		終局限界状態			
					地震動以外		地震動	
			アプローチ部	沈埋部	アプローチ部	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 注1	1.0	0.6 ~1.2	0.8 ~1.2	1.0	
	水圧注3	陸上部 異常時 G.L.	−		1.0		−	
		陸上部 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	−	
		海上部 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 注2	1.0	1.0 注2	1.0	−	

注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。
注2) U型躯体の場合、温度影響を考慮しない。
注3) 終局限界状態（地震以外）では、各部材で断面力が最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。

沿岸技術研究センター：沈埋トンネル技術マニュアル(改訂版)(H14.8)より

6. 構造設計法

◆道路橋基礎(鋼管杭)

・常時＆レベル1：杭体、地盤反力とも弾性

・レベル2：地盤の鉛直・水平抵抗はバイリニア
鋼管杭のM-φ関係もバイリニア

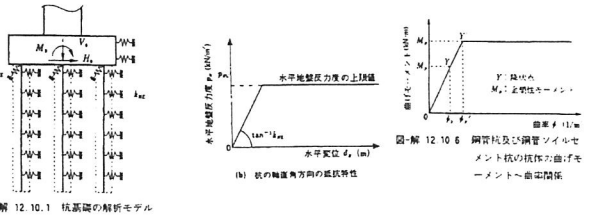


図-解 12.10.1　杭基礎の解析モデル

(b) 杭の軸直角方向の抵抗特性

図-解 12.10.6　鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭の杭作力:曲げモーメント～曲率関係

日本道路協会：道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編(H14.3)より

6. 構造設計法

◆道路橋基礎(鋼管矢板)

・常時&レベル1：柱状体基礎

・レベル2：仮想井筒梁 （または立体骨組み）

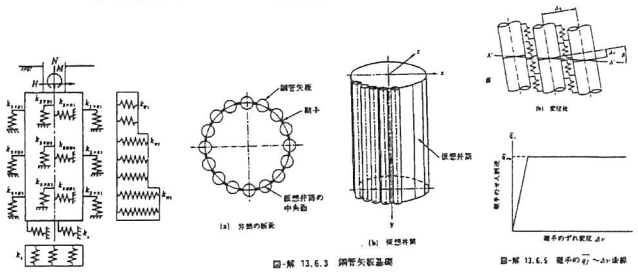


図-解 13.6.3 鋼管矢板基礎

図-解 13.6.5 継手のずれ変位 Δ_r ～ Δ_r 曲線

日本道路協会：道路橋示方書・同解説 Ⅳ下部構造編(H14.3)より

17

6. 構造設計法

◆道路橋鋼製橋脚

・常時：梁理論等に基づく線形構造解析

・レベル2：非線形履歴モデルを用いた<u>時刻歴応答解析</u>

◆シールドトンネル(覆工)

・梁ーバネによる計算など

・耐震設計は応答変位法に基づいた構造解析が一般的

◆沈埋トンネル

・沈埋トンネルをラーメン構造として扱う。
軸方向に関しては弾性床上の梁として検討

18