

第1編

共通編

第1章 総 則

1. 1 適用の範囲

本指針は、一般的な鋼・コンクリート合成構造物（以下、合成構造物という）の設計に適用するものとする。

【解説】 構造物は、従来より、鋼構造物・コンクリート構造物・木構造物など、主として用いられる材料によって分類されている。本指針においても、慣例に従い、鋼、およびコンクリートを主たる使用材料とする広い範囲の合成構造物を適用の対象としている。それらの合成構造物を設計するには、それぞれ独自の設計基準が存在している。しかし、これらの基準は、特定の合成構造物を対象として作成されている。そのため、いずれにも当てはまらない合成構造物を設計する場合には、その適用に著しい困難を伴うことがある。本指針は、このような対象を特定しない一般的な合成構造物の設計に対する指針を示したものである^{1) 2)}。

本指針が適用の対象としている合成構造物は、多岐にわたっている。そのため、本指針の規定のみでは、それらの合成構造物の設計が可能であると限らない。したがって、本指針の適用にあたっては、規定本来の主旨を十分考慮して、柔軟かつ適切な運用がなされなければならない。すなわち、合成構造物の用途に応じた特殊な事情のある場合や、設計・施工の精度、および供用環境等に関連して特別な配慮が必要な場合には、責任技術者の判断により、あるいは類似の合成構造物に関する既存の設計基準が存在するとき、当該設計の思想を考慮した上で、合成構造物全体に共通した基準に変換し、安全性の確認が行なわれねばならない。ここに、類似の合成構造物とは、構造形式・荷重・使用材料・発注者の意図・設計上の安全性確保の考え方・供用環境・耐用年数などが類似している合成構造物を指す。

1. 2 設計の基本

1. 2. 1 設計の原則

- (1) 設計においては、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ものとする。ここに、照査する限界状態は、終局限界状態、使用限界状態、および疲労限界状態に区分するものとする。
- (2) 設計耐用年数は、合成構造物に要求される供用期間と環境条件、および合成構造物の耐久性能を考慮して定めることを原則とする。

【解説】 (1)、および(2)について

合成構造物の設計においては、合成構造物の安全性、使用性、経済性、および環境との調和等を考慮するとともに、製作、運搬、現場施工、検査、塗装、維持管理、ならびに補修などに注意して設計するものとする。このため、設計に当たっては、強度、変形、安定性、耐久性、施工性、保守、美観、騒音、および振動などについて十分に検討する必要がある³⁾。具体的な照査方法については、本編の6章を参照にされたい。

1. 2. 2 設計図書

設計図書の作成に当たって、類似の合成構造物に関する設計基準に定めのある場合にはそれに準拠し、ない場合には可能な限り対応するJIS規格に従うものとする。

【解説】 設計に際しては、設計者の意図が製作する技術者や施工に従事する技術者などに十分に理解され、設計者の意図にあった合成構造物が製作・施工されるように配慮しなければならない。通常、設計・製作・施工・補修などの作業における設計者の意図は、製図の規則に従って表示された図面によって伝達される。したがって、図面を作成する立場からも、図面の内容を読みとる立場からも、図面の表示方法は、できる限り共通の規則に準拠する必要がある。

本指針では、対象とする合成構造物によって図面の表示方法が異なる場合を想定し、条文のように定めた。製図に当たっては、一般に、JIS Z 8302「製図通則」とJIS A 0101「土木製図」とに準拠し、土木学会制定の「土木製図基準」を参考に図面を作成するのがよい。

1. 2. 3 関連する基準

本指針の定めがない事項については、類似の合成構造物に関する基準類についてもよいものとする。

【解説】 本指針は、合成構造物を設計する場合の共通した基本事項である材料の規格、設計荷重の種類、構造解析の方法、材料の強度、限界状態の照査、および構造細目などについて定めたものであり、特定の合成構造物だけを対象としていない。特定の合成構造物によっては、基準類が整備されているものがあり、それに準拠してもよいと思われる。

本指針を作成するに当たっては、鋼構造物設計指針 PART A 一般構造物 を主として参照したほか、下記の基準を参考にした。

- 1) 道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通、Ⅱ鋼橋、Ⅲコンクリート橋、Ⅳ下部工、Ⅴ耐震設計編），1996年12月（日本道路協会）。
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説，1992年11月（鉄道総合技術研究所）。
- 3) コンクリート標準示方書（設計編・施工編），1991年9月，および1996年3月（土木学会）。
- 4) 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説，1987年6月（日本建築学会）。
- 5) 鋼管コンクリート構造計算基準・同解説，1980年2月（日本建築学会）。
- 6) 鋼構造架設設計指針，1978年5月（土木学会）。
- 7) 鋼構造物設計指針 PART A，および B，1987年11月（土木学会）。
- 8) 鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン，1989年3月（土木学会）。
- 9) 鋼構造物の疲労設計指針・同解説，1993年4月（日本鋼構造協会）。
- 10) トラス型ジベルを用いた合成床版の設計・製作・施工指針（案），1993年3月（阪神高速道路公団）。
- 11) 合成柱（充填方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案），1986年3月（阪神高速道路公団）。
- 12) BS 5400, Part 5, Codes of Practice for Design of Composite Bridges, 1979 (BSI).
- 13) Eurocode 4, Composite Steel and Concrete Structures, 1984 (EU).
- 14) Standard Specification for Highway Bridges, 1992 (AASHTO).
- 15) DIN 18806, Teil 1, Verbundkonstruktionen Verbundstützen, März 1984 (DIN).

1. 3 用語の定義

本指針では、次のように用語を定義する。

(1) 合成構造物に関するもの

- 1) 合成構造物：鋼要素とコンクリート要素とをずれ止めによって合成した部材，あるいは構造物であり，単一材料できた異種の部材を連結させたり，あるいは混用して造ったものは除く。
- 2) 合成桁：鋼桁とコンクリート床版とをずれ止めで合成し，曲げやせん断に抵抗させた桁。
- 3) 合成床版：鋼板とコンクリートとをずれ止めで合成し，主として輪荷重に抵抗させた床版。
- 4) 合成柱：鋼部材の中にコンクリートを充填したり，鋼部材をコンクリートで被覆して，適切なずれ止め等によって合成し，曲げ，せん断，あるいは，ねじりに抵抗させた柱。

(2) 合成構造物の責任技術者に関するもの

- 5) 責任技術者：上記の構造物の建設に責任を持つ技術者。

(3) 限界状態に関するもの

- 6) 限界状態：この限界状態を超えると，構造物，または，その部材が設計された機能を果たさなくなる状態。
- 7) 終局限界状態：構造物，またはその部材が破壊したり，大変形や，大変位などを起こし，機能や安定を失う状態。また、コンクリートに過度なひび割れが生じ，外観上，および鋼材に著しい悪影響を与える状態。
- 8) 使用限界状態：構造物，または，その部材が過度の変形，変位，振動などを起こし，正常な使用ができなくなる状態。
- 9) 疲労限界状態：構造物または部材が荷重の繰返し作用により疲労損傷し，機能を失う状態。

(4) 荷重に関するもの

- 10) 荷重：構造物，または，その部材に，応力や変形を起こさせるすべての作用。
- 11) 永久荷重：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，あるいは変動成分が持続的成分に比べてある大きさをもつ場合にもその変動が極めて緩やかな荷重。
- 12) 変動荷重：変動が頻繁に，あるいは継続的に起こり，かつ変動成分が持続的成分に比べて無視できないほど大きい荷重。
- 13) 主たる変動荷重：終局限界状態の照査に用いる荷重の組合せにおいて，その組合せの中で最も主要と考えられる変動荷重。
- 14) 従たる変動荷重：終局限界状態の照査に用いる荷重の組合せにおいて，主たる変動荷重や偶発荷重と合わせて付加的に考慮すべき変動荷重。
- 15) 偶発荷重：設計耐用期間中には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。

(5) 設計に関するもの

- 16) 設計耐用期間：設計時において，構造物，または，その部材が，その目的とする機能を十分に果たさなければならないと規定した期間。
- 17) 安全率：所用の安全性を確保するための係数で，個々の係数を総称したもの。
- 18) 設計荷重：設計において基準とする荷重。終局限界状態の照査に用いる設計荷重は、荷重の組合せ、荷重のばらつきを想定した上で構造物の施工，および耐用期間中に生ずる想定される最大，または最小荷重の期待値。使用限界状態の照査に用いる設計荷重は，構造物の耐用期間中に比較的しばしば生ずると想定される最大，または最小のもの。疲労限界状態の照査に用いる設計荷重は，構造物の耐用期間中の変動状況を考慮して定めるもの。

- 19) 設計基準強度：設計において基準とする材料強度。材料強度の下限值で、その非超過確率が目標とする非超過確率以下となる最大強度。
- 20) 材料強度の規格値：この指針以外の構造物に関する設計基準、または、その他の規定により定められた材料強度の値。
- 21) 試験法係数：試験方法、供試体の抽出方法、供試体と構造物との材料特性の差異、および材料特性の経時変化等を考慮し、材料強度の規格値、および保証値を設計材料強度に変換するための係数。
- 22) 部材強度係数：部材強度の設計値を決めるための係数で、部材強度の設計値の非超過確率を目標とする非超過確率を上回らないようにするための係数。
- 23) 設計断面力（設計応力、あるいは設計曲げモーメントなど）：係数倍された設計荷重により計算される断面力（応力、あるいは曲げモーメントなど）。
- 24) 設計断面耐力（設計強度、あるいは設計終局曲げモーメントなど）：部材の強度である断面耐力（強度、あるいは設計終局曲げモーメントなど）の設計値で、その設計値の非超過確率が目標とする非超過確率を上回らない大きさのもの。
- (6) 部材に関するもの
- 25) 主要部材：この部材の破壊が、構造物全体の安定や機能を失わせたり、構造物全体の破壊に結びつくような部材。
- 26) 二次部材：主要部材以外の二次的な機能を持つ部材で、この部材が構造物全体の安定や機能を失わせたり、構造物全体の破壊に結びつかない部材。

【解説】 本指針で対象としている合成構造物は、多岐にわたっている。そのため、ここでは、各章で共通に使用されている用語の定義のみを記述した⁴⁾。

1. 4 記 号

合成構造物は、建設途上において鋼構造物である場合が多い。そこで、以下では、鋼構造物設計指針⁵⁾で用いられている主な記号を参考にし、一般的な使われ方をされている記号のみを示す。

- A : 断面積 (cm^2)
- E_s : 鋼のヤング係数 (kgf/cm^2)
- E_c : コンクリートのヤング係数 (kgf/cm^2)
- F : 鋼材の材料強度の規格値 (kgf/cm^2)
- F_u : 鋼材の設計基準強度 (kgf/cm^2)
- $\triangle F$: 疲労強度 (kgf/cm^2)
- $\triangle f$: 設計寿命中に予想される作用応力範囲 (kgf/cm^2)
- f_{cv} : コンクリートのせん断強度 (kgf/cm^2)
- f_t : コンクリートの引張強度 (kgf/cm^2)
- f'_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm^2)
- f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm^2)
- f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (kgf/cm^2)
- f_y : 鉄筋コンクリート用鋼棒の引張降伏強度の規格値 (kgf/cm^2)
- f'_y : 鉄筋コンクリート用鋼棒の圧縮降伏強度の規格値 (kgf/cm^2)
- G : せん断弾性係数 (kgf/cm^2)

I	: 断面二次モーメント (cm^4)
J	: サンプナンのねじり定数 (cm^4)
L	: 部材長, あるいは支間長 (cm)
M_d	: 設計曲げモーメント ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
M_{bu}	: 設計終局曲げモーメント ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
P_d	: 設計軸方向力 (kgf)
P_{cu}	: 設計軸方向圧縮耐力 (kgf)
R	: 幅厚比パラメーター
R_d	: 設計強度 (kgf/cm^2)
R_n	: 強度の規格値, あるいは公称値 (kgf/cm^2)
S_d	: 荷重効果の設計値 (kgf)
t	: 板厚 (cm)
V_d	: 設計せん断力 (kgf)
V_u	: 設計せん断耐力 (kgf)
W	: 弾性断面係数 (cm^3)
Z	: 塑性断面係数 (cm^3)
δ	: 構造物, または部材のたわみ (cm), あるいは変位 (cm)
δ_d	: 構造物, または部材のたわみの限界値 (cm)
μ	: ポアソン比, あるいは, すべり係数
ν	: 安全率
σ_{cd}	: 設計圧縮応力度 (kgf/cm^2)
σ_{td}	: 設計引張応力度 (kgf/cm^2)
σ_{md}	: 設計曲げ応力度 (kgf/cm^2)
τ_d	: 設計せん断応力度 (kgf/cm^2)
τ_u	: 設計せん断強度 (kgf/cm^2)
ϕ	: 部材強度係数, あるいは抵抗係数
ϕ_t	: 試験法係数

【解説】 土木学会では, 単位表示として国際単位系を基本にし, 従来の単位系をかつこ書き併記することになっている。これは, 国際的な統一化方針のもとに, 単位表示が国際単位系 (SI単位系) に移行する状況に対応するためのものである。本指針においても, これに習って, 質量と力を明確に区別する方針をとっている。すなわち, 質量の場合にはkgを用い, 力の意味で用いている荷重・重量などの重量キログラムの場合にはkgfを, また応力の場合には kgf/cm^2 の表示を採用している。

参考文献

- 1) 土木学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, および PART B 特定構造物, 土木学会, 1987年11月。
- 2) 土木学会鋼・コンクリート共通構造設計基準小委員会: 鋼構造とコンクリート構造の限界状態設計法に関する共通の原則, 土木学会論文集, No. 450/I-20, pp. 13-20, 1992年7年。
- 3) 土木学会: 鋼構造シリーズ6, 鋼構造物の終局強度と設計, 土木学会, 1994年7月。
- 4) 土木学会: 構造工学シリーズ3, 鋼・コンクリート合成構造物の設計ガイドライン, 土木学会, 1989年3月。
- 5) 土木学会: 鋼構造シリーズ⑨A, 鋼構造物設計指針, 1997年4月。

第2章 材 料

2. 1 鋼 材

2. 1. 1 鋼材の種類

合成構造物に使用する鋼材は、表 2.1に示す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。

表 2.1 鋼材の規格と名称

規格, および名称		記 号	備考
JIS G 3101	一般鋼構造用圧延鋼材	SS400, SS490, SS540	構造用鋼材
JIS G 3106	溶接構造用圧延鋼材	SM400, SM490, SM490Y, SM520, SM570	
JIS G 3114	溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材	SMA400, SMA490, SMA570	
JIS G 3444	一般構造用炭素鋼鋼管	STK400, STK490	鋼管
JIS G 5201	一般構造用角形鋼管	STKR400, STKR490	
JIS G 3452	溶接構造用遠心力鋳鋼管	SCW490 - CF	
JIS G 3550	配管用炭素鋼鋼管	SGP	
JIS G 3353	一般構造用軽量形鋼	SSC400	形鋼
JIS G 3112	一般構造用溶接軽量H形鋼	SWH400, SWH400L	
JIS G 3101	鉄筋コンクリート用棒鋼	SR235, SD295A, SD295B, SD345	鋼棒
JIS G 3109	PC鋼棒	A種1号:SBPR785/930 A種2号:SBPR785/1030 B種1号:SBPR930/1080 B種SBPR930/1180	
JIS G 3536	PC鋼線およびPC鋼より線	丸線:SWPR1, 異形線:SWPD1 2本より線SWPR2, 7本より線SWPR7	線材

【解説】 本条文では、道路橋示方書・同解説 I 共通編¹⁾、鉄道構造物等設計標準の解説²⁾、および建築学会の鋼構造設計基準³⁾などを参照し、そのなかで使用されている主な鋼材を中心に、JIS規格より抜粋して

列記した。一般に、使用鋼材の選定に当たっては、構造物の種類、大きさ、重要度、および使用条件（気象条件、あるいは応力状態）などを考慮し、適切な鋼材を選定すべきである。

(1) 構造用鋼材

構造用鋼材は、引張強さに応じて、41キロ鋼、50キロ鋼、および58キロ鋼などに分けられている。たとえば、SS 400は、引張強さの保証値（最低値）が 41kgf/mm^2 である一般構造用圧延鋼材を意味し、土木構造物において最も多く使われている鋼材である。

溶接を採用する主要部材には、鋼材の溶接性を考慮して溶接構造用圧延鋼材を用いている。溶接構造用圧延鋼材は、板厚の増加とともに、圧延時の内部欠陥や切欠き部の応力集中が生じやすくなり、また溶接による残留応力も生じやすくなる。それゆえ、厚板を使用する場合には、じん性（ねばり強さ）と溶接性に注意を払う必要がある。

JIS規格では、炭素（C）とマンガン（Mn）との量によって溶接性を確保するよう規定し、じん性に対してVノッチシャルピー衝撃試験の衝撃値を基準にして、板厚区分をA、B、およびC（たとえば、SM 490A、SM 490B、およびSM 490Cなど）と規定している。A材については 0°C のVノッチシャルピー値の規定がなく、B材はVノッチシャルピー値が 0°C で $2.8\text{kgf}\cdot\text{m}$ 以上、またC材は $4.8\text{kgf}\cdot\text{m}$ 以上と規定されている。

一方、鋼材に銅（Cu）やクロム（Cr）などを添加することにより、溶接性を損なうことなく耐候性（錆にくさ）を向上させたものには、溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材（たとえば、SMA 400、SMA 490、およびSMA 570）がある。これは、無塗装用（裸使用）のW種と塗装用（さび安定化处理使用）のP種とに区分されている。耐候性鋼材は、腐食の進展が遅いことに特徴がある。しかし、その耐候性は、使用地域、使用条件、構造形式、および構造細目などにより変化するので、その使用にあたっては、十分な注意が必要である。

(2) 鋼管

鋼管には、円形鋼管（たとえば、STK 400、およびSTK 490）と角形鋼管（たとえば、STKR 400、およびSTKR 490）とがある。このうち、円形鋼管が、一般的である。鋼管の特徴は、曲げ剛性が方向によって変わらない点と、ねじれ剛性が大きい点とである。

表 2.1 に示されているJIS規格以外にも、鋼板、あるいは鋼帯などを溶接して製作される鋼管がある。台形断面のものについては、溶接上の欠陥が生じる恐れがあるので、十分な配慮が必要である。

(3) 軽量形鋼

軽量形鋼は、薄板を冷間でロール成形して得られるもので、主に建築物、あるいは埋設型枠に使用されている。熱間圧延鋼材に比べて、部材の組立て方、剛性、および腐食などに注意を払う必要がある。

(4) その他

接合用鋼材、溶接用鋼材、鍛造品、線材、鋼棒、およびステンレス鋼などを使用するときは、鋼構造物設計指針⁹⁾を参照するとよい。

2. 1. 2 スタッ

合成構造物に使用するスタッドは、JIS規格に適合するものを標準とする。

【解説】 従来、ずれ止めの種類としては、スタッドのほかに、溝形鋼と輪形筋よりなるもの、およびブロックと輪形筋よりなるものを標準としていた。しかし、道路橋の場合、ほとんどの場合がスタッドを用いていることから、ここでは、スタッドの使用を原則とした。スタッドは、JIS B 1198-1982（頭付きスタッド）を満足し、スタッド溶接部の溶接強度も、JIS Z 3145-1981（頭付きスタッド溶接部の曲げ試験方法）を満足していることとした⁹⁾。なお、スタッド以外のずれ止めを使用する場合は、別途、検討する必要がある。

2. 1. 3 鋼の材料定数

合成構造物の設計計算に用いる鋼材の材料定数，およびPC鋼材のヤング係数，せん断弾性係数，ならびにポアソン比の値は，表 2.2にそれぞれ示す値を標準とする。

表 2.2 設計計算に用いる鋼材の物理定数

種 類	物理定数の値
鋼，および鉄筋のヤング係数	$2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
PC鋼線，PC鋼より線，PC鋼棒のヤング係数	$2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
鋼のせん断弾性係数	$8.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
鋼のポアソン比	0.30

プレストレスの減少量を算出する場合のPC鋼材の見かけのリラクゼーション率 γ は，表 2.3の値を標準とする。ただし，PC鋼材が高温の影響を受ける場合のPC鋼材の見かけのリラクゼーション率 γ は，表 2.3の値に2%を加算するのを原則とする。

表 2.3 PC鋼材の見かけのリラクゼーション率 γ

PC鋼材の種類	リラクゼーション率 γ (%)
PC鋼線，PC鋼より線	5
PC鋼棒	3
低リラクゼーションPC鋼より線	1.5

これによりがたい場合は，PC鋼材の引張応力度に応じて測定されたリラクゼーション率から，コンクリートのクリープ，および乾燥収縮などの影響を考慮して，別途，PC鋼材の見かけのリラクゼーション率 γ を定めるものとする。

また，温度変化の影響を考慮する場合の鋼の線膨張係数は， $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ を標準とする。

【解説】 鋼材の材料定数であるヤング係数，せん断弾性係数，およびポアソン比は，一定値でなく，ばらつきがある。試験によって確認しない場合には，表 2.2に示す値を標準値として用いるものとした。

2. 2 コンクリート

2. 2. 1 コンクリート材料

合成構造物のコンクリート材料には，次に示す材料を用いるものとする。

- (1) セメントは，JIS R 5210，JIS R 5211，JIS R 5212，およびJIS R 5213に適合するものとする。
- (2) 水には，油，酸，塩類，有機不純物，懸濁など，コンクリート，および鋼材の品質に悪影響を及ぼす物質が有害量を含んでいないものとする。
- (3) 骨材は，土木学会コンクリート標準示方書の基準に適合する骨材とする。
- (4) 混和剤は，土木学会コンクリート標準示方書の基準に適合する混和剤とする。

【解説】 ここでは、道路橋示方書・解説 I 共通編¹⁾に規定されているコンクリート材料の適用範囲を広げるため、土木学会コンクリート標準示方書⁹⁾を参考にして一般化した。

2. 2. 2 コンクリートの材料定数

コンクリートの材料定数は、実験、あるいは既往のデータに基づいて定めることを原則とする。

【解説】 コンクリート標準示方書・設計編⁹⁾の 3.2.4によると、『コンクリートのヤング係数は、原則として、土木学会規準「コンクリートの静弾性係数試験方法（案）」によって試験を行い、応力-ひずみ曲線を求め、圧縮強度の 1/3の点とひずみが 50×10^{-6} の点とを結ぶ割線弾性係数の試験値の平均値とする。』と規定されている。また、コンクリートのヤング係数の値は、繰返し荷重を受ける場合、あるいは作用する応力度が小さい場合、初期弾性係数に近い値を示すので、一般に、解説表 2.1の値を 10%程度割増すのがよいとしている。

さらに、コンクリート標準示方書・設計編の3.2.5によると、『コンクリートのポアソン比は、弾性範囲内で、一般に、0.2としてよい。ただし、引張りを受けひび割れを許容する場合には、零とする。』と規定されている。また、コンクリート標準示方書・設計編の 3.2.6では、『コンクリートの線膨張係数は、一般に $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ としてよい。』と定めている。

解説表 2.1 普通コンクリートのヤング係数（コンクリート標準示方書⁹⁾）

材令 28 日における圧縮 試験強度に対する保証値 σ_{ck} (kg/cm ²)	180	240	300	400	500	600
ヤング係数 E_c (kg/cm ²)	2.2×10^5	2.5×10^5	2.8×10^5	3.1×10^5	3.3×10^5	3.5×10^5

道路橋示方書・同解説（I 共通編）¹⁾においては、鉄筋コンクリート部材の応力度の計算に用いるヤング係数比は、15と定めている。また、コンクリートのポアソン比については、一般に1/6であるとしている。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（I 共通編，II 鋼橋編），1996年12月。
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説—鋼・合成構造物，1992年10月。
- 3) 日本建築学会：鋼構造設計規準，1973年5月。
- 4) 土木学会：鋼構造シリーズ⑨A，鋼構造物設計指針，1997年4月。
- 5) 日本鋼構造協会スラット・ジヘル標準化小委員会報告：スラット材における加工硬化の機械的性質ならびに溶接性におよぼす影響について，JSSC，Vol. 12, No. 129, pp. 1-12, 1976。
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成8年制定），設計編，施工編，1996年3月。

第3章 荷重および荷重の組合せ

3. 1 荷重の種類

合成構造物の設計に当たって考慮すべき荷重の種類としては、類似の構造物に設計基準の定めがある場合、それに準拠する。そして、設計基準がない場合は、責任技術者の判断によるものとする。また、設計においては、施工中、および耐用期間中に作用する荷重を適切な組合せのもとに考慮しなければならない。

【解説】 本指針の対象とする構造物が多岐にわたるため、考慮するべき構造物を一律に定めるのは、必ずしも妥当ではないと言う判断から、条文のように定めた。

土木学会「鋼構造とコンクリート構造の限界状態設計法に関する共通の原則」¹⁾ (以下、「共通の原則」と略す)では、荷重の変動性に応じ、「永久荷重」、「変動荷重」、および「偶発荷重」という3つに分類している。永久荷重とは、変動がほとんどないか、あるいは変動が持続成分に比べて無視できるほど小さい荷重である。たとえば、道路橋示方書²⁾では、死荷重のほか、プレストレス力、常時の土圧や水圧などがこれに該当する。そして、変動荷重は、変動が頻繁、あるいは連続的に起こり、かつ変動が持続的成分に比べて無視できないほど大きい荷重である。道路橋示方書では、たとえば活荷重、および衝撃や、温度変化の影響がこれに当たる。風荷重にも、変動荷重として注目すべき側面があり、使用限界状態や疲労限界状態の照査に関係してくる。また、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り、地震の影響がその代表と言える。風荷重のように、終局限界状態の照査に当たって考慮する場合は、偶発荷重と言ってよいであろう。温度変化の影響も風荷重と同様に、本来的には、変動荷重である。しかし、道路橋示方書の規定に見られるように、 -30°C から 50°C (寒冷地)までと言った数値は、偶発荷重としての側面に留意したものであると理解することができる。

設計で考慮する荷重の種類とその組合せ、さらにその設計値は、本質的に限界状態との対応関係で決まるものである。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、組合わせられる。

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のとき、十分に大きい値が採用される。「十分に大きい」という語の意味は、施工・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せしめないほど小さくなると補足説明される。ただし、自然現象に起因する荷重は、確率分布の「裾が長い」性質を有し、いくらでも大きい荷重が発生しうる可能性がある。風荷重や、従来、耐震設計で考慮の対象となってきた海洋型震源の地震などにも、その傾向が強く見られる。しかし、さらに兵庫県南部地震のような直下型の地震では、活断層の活動周期が千年単位と、構造物の供用年数に比較しても極めて長く、またその影響範囲も限定されるものの、震源付近で極めて深刻な影響を及ぼすことがある。こうした影響への対処を、一律に規定することはできない。ところが、構造物のもたらす便益と限界状態発生時の人命・財産への影響や社会経済的な負の便益などを考慮した構造物の重要性 (この要因は、構造物係数の決定にも反映される)、設計上その荷重によって寸法決定が支配される構造要素の全体構造物への限界状態に及ぼす影響の大きさ、および過去の災害の経験やデータの蓄積などを合わせて、十分に安全性と経済性のバランスとを配慮して荷重値が決められねばならない。それは、必ずしも、最大値に相当するものでなければならないというものではない。しかし、荷重の超過によって、事故や不具合が生じた場合にも、社会や使用者に対して十分な説明のし得る「責任保証荷重」と言える程度に大きいものにする必要がある。

広い意味での構造物の重要度によって、設計荷重値を、変化させるべきであるとの考えは、自然なことである。平成7年5月に発表された「土木構造物の耐震基準等に関する提言」（土木学会耐震基準等基本問題検討会議）³⁾でも、「構造物が保有すべき耐震性能は、その重要度を考慮して決定すべきである」（要約して抜粋）と述べられている。

構造物の疲労限界状態、あるいは鋼材の腐食、コンクリートのひび割れなど、終局限界状態ではないが、時間に依存して構造物の機能に重要な影響を及ぼす限界状態については、永久荷重としての取り扱うことに異論がない。しかし、変動荷重については、供用期間中の生起頻度が高い、あるいは継続時間が長いレベルに設定しておくのが当然のことであろう。そして、同種の荷重であっても、終局限界状態に対して設定されるレベルとは、異なったものとするのが適切であると考えられる。ただし、こういうレベルの荷重をどのように設定したらよいかの研究は、まだ十分に進んでいるとはいえない。ちなみに、米国のAASHTOでは、荷重係数設計法が用いられている。そして、ここで規定された設計活荷重（H-荷重、およびHS-荷重）は、常時作用するものとして運用されている。

3. 2 荷重の組合せ

通常の合成構造設計では、限界状態に応じて、表 3.1の荷重の組合せのもとで行うことを標準とする。

表3.1 設計荷重の組合せ

各種の限界状態	設計荷重の組合せ
終局限界状態	永久荷重+主たる変動荷重+従たる変動荷重 永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重
使用限界状態	永久荷重+主たる変動荷重
疲労限界状態	永久荷重+主たる変動荷重

【解説】 ここでは、荷重の組合せの基本を「共通の原則」¹⁾に合わせて示した。条文の表 3.1における永久荷重、主たる変動荷重、および偶発荷重の特性値については、前節に示した諸点などを考慮して、十分に安全な値をとるようにすべきである。また、従たる変動荷重は、同時発生確率の低さを考慮して、主たる変動荷重よりも低い水準の値に設定してよい。

対象とする合成構造物によっては、複数の変動荷重、あるいは変動荷重と偶発荷重との組合せにおいて、双方とも相当に大きめの荷重を想定する必要がある場合があるかもしれない。その場合には、責任技術者の判断によるものとする。

構造解析においては、それぞれの荷重の荷重効果を単に重ね合わせている。それぞれの荷重を十分に安全に見積もっておけば、設計結果も、より安全なものになると考えるのが普通であり、通常、その考え方に従っていて問題が起こらない。しかし、それが一般的な真理かといえ、必ずしもそう言い切れない。

昭和55年版までの道路橋示方書の荷重の組合せに含まれていた 主荷重+地震の影響+温度変化の影響は、平成2年版において削除されている。その解説では、それまで同時生起の可能性が高いと考えられていたものが、その後の調査で、その可能性が小さいと考えられるようになった旨の説明が付されている。しかし、それに至るまでの検討、たとえば日本道路協会・橋梁委員会・限界状態設計法分科会・荷重検討班における検討⁴⁾では、限界状態についてもう少し進んだ議論も考慮に入れられていた。

地震の影響で構造物が崩壊するような場合には、それに先行して構造物が方方で降伏、もしくは、ひび割れなどの損傷を受けており、仮に温度変化の強い影響を、地震発生直前まで被っていたとしても、その荷重

効果は解放されてしまう可能性が高い。すなわち、構造物の限界状態を正確にシミュレートしていることにならない可能性が高い。一方、構造設計を力学問題としてでなく、荷重に対してより合理的に所定の安全性を確保しようとする形状、ならびに構造形式の決定問題（最適化意志決定問題）という観点から捕らえた場合、地震の影響を初めとする構造物に外的な力として作用する荷重は、支点部、および連結部の接続を強固にし、不静定次数を高くするほど構造物内部の断面力配分が均等化され、より経済的な結果を導く傾向がある。それに反して、温度変化の影響・支点沈下の影響に代表される変位・変形強制型の荷重は、構造物の拘束を極力解放することによって、より経済的な構造物となる。すなわち、これらは、トレード・オフとして扱われるべきものであり、断面力や応力の和をとるべきものでないと言えらる。狭い意味での許容応力度設計法の発想では、こうした点まで配慮が及ばなかった面も否めない。近年の道路橋示方書の許容応力度設計法の書式をとった限界状態設計法という方向性が、こうした側面で生かされていると言えらる。

参考文献

- 1) 土木学会鋼・コンクリート共通構造設計基準小委員会：鋼構造とコンクリート構造の限界状態設計法に関する共通の原則，土木学会論文集，No. 450/I-20，pp. 13-20，1992年。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，（I 共通編），1994年12月。
- 3) 土木学会・耐震基準等基本問題検討会議：土木構造物の耐震基準等に関する提言，土木学会誌，Vol. 80-8，前付，1995年。
- 4) 日本道路協会橋梁委員会限界状態設計法分科会荷重検討班：限界状態設計法分科会荷重検討班第1次報告書，1986，第2次報告書，1989年。

第4章 構造解析

4. 1 一般

- (1) 構造解析においては、対象とする合成構造物の照査する限界状態の種類、および、その照査事項と照査方法に応じて、適切な構造モデルと境界条件、ならびに荷重条件を設定するものとする。
- (2) 合成桁、合成床版、および合成柱など、あるいは、これらを組合せた合成構造物の構造モデルの設定に当たっては、それらを適切にモデル化して、構造解析が行い易いようにする。
- (3) 動的な現象に対する限界状態の照査を行うに当たっては、構造モデル、荷重、および解析法を適切に単純化した動的解析、あるいは動的荷重そのものを静的荷重に置き換えた解析によってもよい。
- (4) 構造解析は、対象とする合成構造物の照査する限界状態の種類に応じた適切な方法を選定して行うものとする。コンピュータを使用する場合には、計算に用いるプログラムが基づいている基礎理論、仮定、数値解法の適合性、および解の精度、ならびに収束性に十分に配慮するものとする。

【解説】 (1)、および(2)について

構造解析においては、対象とする合成構造物と照査する限界状態の種類、および、その照査事項と照査方法に応じ、合成桁、合成床版、および合成柱など、あるいは、それらの組合せたものに対して、最も適切な構造モデルと境界条件、ならびに荷重条件を設定する必要がある。

(3) について

動的な現象に対する限界状態の照査は、構造モデルを静的解析用のものに比べて簡略化したり、作用する動的荷重、および適用する解析法を適切に単純化した動的解析、あるいは動的荷重そのものを静的荷重に置き換えた解析により、効率化を図ってよいものとした。

(4) について

構造解析は、線形理論によるものと、非線形理論とによるものとに大別される。このうち、非線形理論には、弾塑性問題を含めて種々な解析レベルのものがある。しかし、同じ構造物の各限界状態に対しては、必ずしも同一の解析理論を用いる必要がなく、照査する限界状態の種類に応じた適切な解析法を選定できるものとした。また、コンピュータ・プログラム化された代表的な計算手法には、平面・立体骨組解析法、任意形格子理論に基づく解法や、有限要素法、有限帯板法、境界要素法、および直交異方性板理論、あるいは折板理論に基づく解法などがある。これらの適用に当たっては、解析理論、および数値解法の適合性を十分に配慮しなければならない。とくに、有限要素法などを用いる場合は、所要の精度の解が得られる適切な部材要素に分割する必要がある。さらに、非線形解析を行う場合には、解の収束性を確保できる適切な荷重制御、あるいは変位制御を行う必要がある。

4. 2 終局限界状態の構造解析

終局限界状態の構造解析は、弾性微小変位解析法を適用した静的解析によるものを原則とする。しかし、責任技術者が必要と認める場合には、座屈固有値解析法、弾性有限変位解析法、あるいは弾塑性有限変位解析法などのうち、対象とする合成構造物に適した解析法を選定し、構造解析するものとする。

【解説】 構造解析は、これまでの適用実績、および各荷重に対する計算結果の重ね合わせや、影響線処理が可能であることなどから、設計実務の効率化を考え、弾性微小変位解析法を適用した静的解析によるものを原則とした。しかし、対象とする合成構造物の規模や変形特性、および設計条件、ならびに荷重条件によっては、弾性微小変位解析法では、十分な精度が得られない場合も考えられる。そのような場合には、責任技術者の判断により、座屈固有値解析法、および弾性有限変位解析法や、弾塑性有限変位解析法などの適切な解析法を選定できるものとした。

4. 3 使用限界状態の構造解析

- (1) 使用限界状態の照査における静的解析は、弾性微小変位解析法を適用するのを原則とする。しかし、責任技術者が必要と認めた場合には、対象とする合成構造物に応じた適切な解析レベルの弾性有限変位解析法を選定して適用するものとする。ただし、作用荷重には、原則として衝撃を含めないものとする。
- (2) 使用限界状態の照査における動的解析は、弾性微小変位理論に基づく固有振動解析法、および動的応答解析法を適用するのを原則とする。しかし、責任技術者が必要と認めた場合には、対象とする合成構造物に応じた弾性有限変位理論に基づく適切な解析レベルの解析法を選定して適用するものとする。

【解説】 (1) について

一般に、使用限界状態における合成構造物、または、その部材の変形が、大きくないので、ここでは、弾性微小変位解析法を適用するのを原則とすることとした。また、たわみによる照査は、動的作用を含む現象を静的現象に置き換えるだけでなく、構造物全体として必要な剛性を確保することで使用限界状態における安全性を大略的に照査しようとするものである。その際、道路橋示方書を含む多くの設計基準の定めに従って、荷重は実状に応じて単純化でき、また衝撃は原則として含まないものとした。

(2) について

ここでも、静的解析の場合と同等の変形と考え、弾性微小変位理論に基づく固有振動解析法、およびモード重畳法、あるいは直接積分法による動的応答解析法を適用するのを原則にすることとした。このうち、固有振動解析法としては、「立体横断施設基準」¹⁾の2.13によると、単純支持桁の固有振動数の計算式が示され、それ以外の構造系の場合、「土木技術者のための振動便覧」²⁾を参照すればよいとしている。一方、簡単な構造系に対しては、静的最大たわみによって表された簡略計算式が与えられている。

4. 4 疲労限界状態の構造解析

- (1) 疲労限界状態の照査における構造解析は、弾性微小変位解析法を適用した静的解析によるものを原則とする。しかし、責任技術者が必要と認める場合には、対象とする合成構造物に応じた適切な解析レベルの弾性有限変位解析法を選定して適用するものとする。
- (2) 疲労限界状態の照査に当たって、荷重の動的作用が及ぼす影響を無視できない場合には、衝撃係数によって考慮するものとする。衝撃係数は、類似の合成構造物における測定結果に基づいて定めることを原則とする。しかし、信頼性のある測定結果などが無い場合は、終局限界状態の照査におけるものを用いてもよい。

【解説】 (1) について

一般に疲労限界状態における構造物の部材，または連結部の変形は，大きくなく，弾性微小変位解析法の適用を原則とすることとした。

(2) について

この条文は，「鋼構造物の疲労設計指針」³⁾ 5.1.4 の規定を準用したものである。その疲労設計指針では，衝撃係数に関する測定結果などの正確なデータがない場合，終局限界状態の照査におけるものを用いれば，一般に安全側の疲労照査となると解説されている。

参考文献

- 1) 日本道路協会：立体横断施設技術基準・同解説，1979年1月。
- 2) 土木学会：土木技術者のための振動便覧，1985年10月。
- 3) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993年4月。

第5章 材料および部材の強度

5.1 一般

本指針の第4章による構造解析のもとで、第6章の合成構造物に対する限界状態の照査を行う場合、材料および部材の強度は、本章の定めによるものとする。

5.2 設計基準強度

設計基準強度 F_d は、5.3に定める鋼材などの材料強度の規格値 F と試験法係数 ϕ_i を用いて、次式によって算出する。

$$F_d = \phi_i \cdot F \tag{5.1}$$

ここに、 ϕ_i は試験法係数で、責任技術者が定めるものとする。

【解説】 文献1)によれば、JISによる保証降伏点強度は、実験室内での鋼材の静的なひずみ速度試験による降伏点強度より高く、これらの関係は確率変数を用いて表されている。本設計基準における設計基準強度としては、強度の下限值を用いる。すると、文献1)の関係式を参考すれば、鋼を用いた部材に関する ϕ_i の値は、0.92と定めることもできる。しかしながら、試験法係数 ϕ_i は、用いる材料の強度試験法に依存する量である。そのため、この値は、それらに関しての十分な検討を行った上で、責任技術者が定めるものとした。

5.3 材料強度の規格値

5.3.1 鋼材の材料強度の規格値

鋼材の材料強度の規格値は、表 5.1に示す値を標準とする。

表 5.1 鋼材の材料強度の規格値 F (kgf/cm²)

鋼種	SS400, SM400 SMA400, STK400 STKR400, SSC400 SWH400, SWH400L	SM490 STK490 STKR490 SCW490-CF	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570	厚さの 適用範囲
強度	2,400	3,200	3,600	4,600	40mm以下のもの
	2,200	3,000	3,400	4,400	40mmを超えるもの

【解説】 表 5.1の材料強度の規格値を定めるに当たっては、JISに規定されている板厚16~40mm、および板厚40mmを超える鋼板の保証降伏点をもとにし、代表的な鋼種のみを取り上げ、それらの強度を示した。

表 5.1に示した鋼種以外のものであっても、責任技術者の判断により、JISで示される保証降伏点等を用い、

材料強度の規格値を決定することができる。ただし、板厚が100mmを超える鋼板を使用する場合には、十分な調査・研究が必要である。

5. 3. 2 棒鋼の材料強度の規格値

鉄筋コンクリート用棒鋼の材料強度の規格値は、表 5.2に示す値を標準とする。

表 5.2 鉄筋コンクリート用棒鋼の材料強度の規格値 F (kgf/cm²)

棒鋼の種類	SR235	SD295A SD295B	SD345
強度	2,400	3,000	3,500

【解説】 JIS G 3112の保証降伏点を、鉄筋コンクリート用棒鋼の材料強度の規格値とした。

5. 3. 3 PC鋼材の材料強度の規格値

プレストレス導入用のPC鋼線、PC鋼より線、およびPC鋼棒の材料強度の規格値は、表 5.3に示す値を標準とする。

表 5.3 PC鋼線、PC鋼より線、およびPC鋼棒の材料強度の規格値 F (kgf/cm²)

プレストレス材の種類	記号	呼び名	強度
PC鋼線	SWPR1 および SWPD1	5mm	16,500
		7mm	15,500
		8mm	15,000
		9mm	14,500
PC鋼より線	SWPR2 SWPR7A SWPR7B	2本より	19,500
		7本より	17,500
		7本より	19,000
PC鋼棒	SBPD110/125 SBPD130/120		11,000
			13,000

【解説】 土木学会コンクリート標準示方書・規準編による保証耐力を、材料強度の規格値とした。

5. 4 接合用鋼材および溶接部の強度

5. 4. 1 接合用鋼材の強度の規格値

- (1) 摩擦接合用高力ボルトのすべり強度の規格値は、表 5.4に示す値を標準とする。
- (2) 摩擦接合継手は、接合面に引張力を生じさせないように設計するのを原則とする。しかし、構造上の理由により、引張力が作用するような設計を採用する場合には、すべり強度の規格値は、表 5.4に $(1 - N_0 / N)$ を乗じ評価する。

- ここに、 N : 設計ボルト引張強度で、 $\alpha \cdot \sigma_{by} \cdot A_e$ (kgf)
 α : 保証降伏点強度に対する比率で、F8Tに対して 0.85, またF10Tに対して 0.75とする。
 σ_{by} : ボルトの保証耐力の規格値で、F8Tに対して 6,400 kgf/cm², またF10Tに対して 9,000kgf/cm² とする。
 A_e : ねじ部の有効断面積(cm²)
 N_0 : 高力ボルト1本に加わる引張力 (kgf). ただし、 $N_0 < N$ とする。

表 5.4 摩擦接合用高力ボルトのすべり強度の規格値 (kgf)

(1ボルト1摩擦面あたり)

ねじの呼び	ボルトの等級	
	F8T, S8T	F10T, S10T
M16	3,400	4,200
M20	5,300	6,600
M22	6,600	8,200
M24	7,700	9,500

- (3) 引張接合用高力ボルトの引張強度の規格値は、表 5.5 に示す値を標準とする。
(4) 支圧接合用高力ボルトのせん断強度、および支圧強度の規格値は、それぞれ表 5.6、および表 5.7 に示す値を標準とする。

表 5.5 引張接合用高力ボルトの引張強度の規格値 (kgf)

ねじの呼び	ボルトの等級	
	F8T	F10T S10T
M16	8,500	10,600
M20	13,300	16,500
M22	16,500	20,500
M24	19,200	23,800

表 5.6 支圧接合高力ボルトのせん断強度の規格値 (kgf/cm²)

ボルトの等級	B8T	B10T
強度	2,600	3,300

表 5.7 支圧接合高力ボルトの支圧強度の規格値 (kgf/cm²)

鋼種	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
	強度	4,100	5,400	6,100

(5) 普通ボルトの引張強度，せん断強度，および支圧強度の規格値は，表 5.8に示す値を標準とする。

表 5.8 普通ボルトの引張強度，せん断強度，および支圧強度の規格値 (kgf/cm²)

強度の種類 \ 強度区分	JIS B 1180(1985) の4.6
引張強度	2,000
せん断強度	1,500
支圧強度	3,200

(6) ピン，およびアンカーボルトの強度の規格値は，表 5.9に示す値を標準とする。

表 5.9 ピンおよびアンカーボルトの強度の規格値 (kgf/cm²)

強度の種類 \ 鋼種		SS400	S30C	S35C
		ピン	せん断強度 曲げ強度 支圧強度	1,700 3,200 1,700
アンカーボルト	せん断強度	1,000	1,200	1,400

【解説】 本条文は，鋼構造物設計指針に準拠している。

5. 4. 2 溶接部接合用鋼材の設計強度

応力を伝える溶接部の強度は，各鋼種に適合する溶接棒を使用し，かつ溶接技量有資格者により十分な施工管理・品質管理が行われる場合，接合される母材の設計強度をとることができる。ただし，強度の異なる鋼材を接合する場合には，強度の低い方の鋼材に適合する溶接棒を使用し，強度の低い方の鋼材の設計強度を溶接部の強度にとるものとする。

【解説】 応力を伝える溶接部の強度は，道路橋示方書²⁾などの考え方を踏襲して，接合される母材の設計材料強度をとることができるとした。溶接部で伝える応力は，特別な場合を除いて，全断面溶込みグループ溶接で引張応力，圧縮応力，および，せん断応力によって，また部分溶込み溶接とすみ肉溶接とで主にせん断応力によってとることとした。

5. 5 部材の強度

5. 5. 1 軸方向引張強度

合成構造部材の軸方向引張強度としては，次式に示す値を標準とする。

$$P_n = A_n \cdot F_u \tag{5.2}$$

ここに，
 P_n : 軸方向引張強度 (kgf)
 A_n : 照査する断面の純断面積 (cm²)
 F_u : 5.2 に定める設計基準強度 (kgf/cm²)

【解説】 合成構造部材では、軸方向引張力に対してコンクリート断面の寄与を原則として無視し、鋼構造物設計指針に従って軸方向引張強度を算定する。

5. 5. 2 軸方向圧縮強度

合成構造物で、架設途上に鋼構造物とみなせるものについては、鋼構造物設計指針に従って軸方向圧縮強度を求めるものとする。その軸方向圧縮強度については、本指針の各編の条項に従うものとする。

【解説】 たとえば、本指針の第4編5章には、コンクリート充填前の鋼管柱、およびコンクリート充填後の合成柱に対する軸方向圧縮強度の算定法方を示したので、参照にされたい。

5. 5. 3 曲げ強度

合成構造物で、架設途上に鋼構造物とみなせるものについては、鋼構造物設計指針に従って構造用部材の曲げ強度を求めるものとする。その曲げ強度については、本指針の各編の条項に従うものとする。

【解説】 たとえば、本指針の第2編5章には、コンクリート床版と鋼桁との合成前の鋼桁、および合成後の合成桁に対する曲げ強度の算定方法を示したので、参照にされたい。

5. 5. 4 せん断強度

合成構造物で、鋼部材のみでせん断力を受けもつ場合の構造用鋼材のせん断強度としては、次式に示す値を標準とする。

$$\tau_v = \frac{F_u}{\sqrt{3}} \quad (5.3)$$

ここに、 τ_v : せん断強度 (kgf/cm²)
 F_u : 5.2に定める設計基準強度 (kgf/cm²)

【解説】 ここで規定されるせん断強度は、鋼部材がせん断座屈を起こさない場合の強度である。

5. 5. 5 局部座屈強度

合成構造物で、架設途上に鋼構造物とみなせるものについては、鋼構造物設計指針に従って局部座屈強度を求めるものとする。合成構造物の局部座屈強度については、本指針の各編の条項に従うものとする。

【解説】 たとえば、本指針の第4編5章には、合成柱に対する局部座屈強度の算定方法を示したので、参照にされたい。

5. 6 コンクリートの設計強度と応力-ひずみ関係

(1) コンクリートの限界圧縮強度、限界引張強度、限界曲げ強度、限界付着強度、および限界支圧強度は、材令28日における試験強度に基づいて計算するのを原則とする。そして、構造物の使用目的、主

な荷重の作用する時間，および施工計画等によっては，適切な材令の試験強度の保証値に同じ低減係数を乗じて定めてもよい。ただし，試験強度が得られない場合には，一般の普通コンクリートに対する材令28日における圧縮試験強度の特性値に基づき，各強度を求めることができるものとする。

(2) 合成構造物の強度を算定する際のコンクリートの応力-ひずみ関係は，図 5.1を用いてよいものとする。

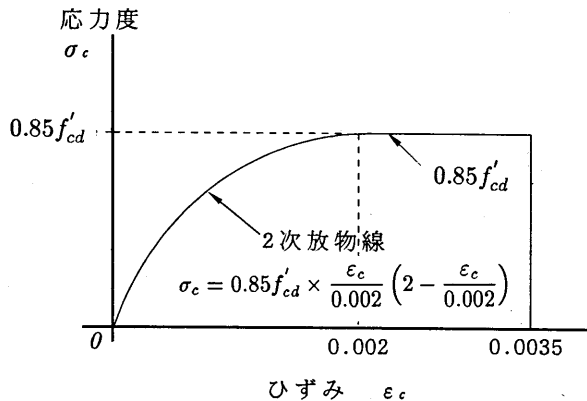


図 5.1 コンクリートの応力-ひずみ関係

【解説】 (1) について

ここでは，コンクリートの強度の定め方を土木学会コンクリート標準示方書・設計編³⁾に準拠して定めた。コンクリートが適切に養生されている場合，その圧縮強度は，材令とともに増加する。そして，合成構造物では，標準養生を行った供試体の材令28日における圧縮強度以上のものが期待できる。このことから，本指針では，コンクリートの設計基準強度を材令28日における圧縮試験強度の保証値としている。ここに，保証値は，この保証値より小さい試験値の得られる確率が5%になるように選ばれている。また，本指針の場合，設計強度は，設計に用いる限界強度を意味する。すなわち，実際に使われる材料の強度が設計強度を下回る確率は，5%より十分小さくなるように選んでいる。

そして，コンクリートの強度は，試験時の材令，試験までの養生状態，供試体の形状と寸法，および載荷状態の相違によって，その値が変化する。そこで，各強度試験は，JIS規格に基づいてなされる。すなわち，コンクリートの圧縮強度試験，引張強度試験，および曲げ強度試験はそれぞれ JIS A 1180, JIS A 1113, および JIS A 1106に基づくものとし，また供試体の作り方については JIS A 1132によることとした。

(2) について

コンクリートの応力-ひずみ曲線は，土木学会コンクリート標準示方書・設計編³⁾に従うこととし，条文のように定めることとした。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シ-6，鋼構造物の終局強度と設計，1994年7月。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編），1996年12月。
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成8年制定），設計編。1996年3月。

第6章 限界状態の照査

6.1 一般

合成構造物の各限界状態に対する安全性は、すべて照査するのを原則とする。ここに、限界状態としては、終局限界状態、使用限界状態、および疲労限界状態の3種類を考えるものとする。

【解説】 合成構造物においても、鋼構造物、コンクリート構造物と同様に、終局限界状態、使用限界状態、および疲労限界状態に対する安全性の照査を行うものとする。

6.2 終局限界状態の照査

合成構造物の終局限界状態に対する安全性の照査は、次式によって行うものとする。

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1 \quad (6.1)$$

ここに、 S_d : 荷重効果の設計値 (kgf)

R_d : 安全を考慮した部材強度 (kgf)

【解説】 合成構造物に限らず、あらゆる構造物の設計法において、構造物の安全性は、最大値であると想定される荷重に対する荷重効果 S (断面力あるいは応力) と、確率的に見て十分に安全であると思われる抵抗値 R (断面力あるいは応力) とを比較して、式 (解6.1)

$$S \leq R \quad (\text{解6.1})$$

が成り立つことを照査しなければならない。すなわち、式 (解6.1) は、十分に大きな荷重に対する荷重効果 S と十分に小さな抵抗値 R とを比較して、安全性を確保しようという考え方に基づいている。

しかしながら、確率統計の理論に基づいて荷重効果 S や抵抗値 R を十分に安全側にとったとしても、設計から施工に至るまでのあらゆる段階における未知の要因を S や R の中に含ませることができず、無次元係数とも呼べる安全率 ν ($\nu \geq 1$) を考えることの必然性が、多くの事故例を教訓にして提案された。

そして、式 (解6.1) の安全性の照査式をさらに安全側に設定するため、 S と R との間に一定の比で表される安全率を確保するという表現の式 (解6.2) が、ナビエ (Navier) によって提案された。その後、材料の進歩と相まって、長い間、式 (解6.2) が許容応力度設計法のフォーマットに従う照査式として使われてきた。

$$S \leq R/\nu \quad (\text{応力で示せば、} \sigma \leq \sigma_a = \sigma_u/\nu, \sigma_u: \text{材料強度}) \quad (\text{解6.2})$$

鋼構造物設計指針の第1版では、限界状態設計法のフォーマットが明確になるように、現行の許容応力度設計法の抵抗値の側に含まれていた安全率 ν を抵抗値から独立させ、式 (解6.2) を変形して、式 (解6.3) の形での限界状態照査式が作成された。

$$\nu \frac{\sum S(F_d)}{R(f_d)} \leq 1 \quad (\text{解6.3})$$

ここに、 F_d : 設計荷重, f_d : 設計材料強度, S : 荷重効果, R : 抵抗値, および ν : 安全率である。

式(解6.3)が土木学会における鋼構造物の限界状態設計法対する照査の基本式であり、これが現行の許容応力度設計法によるものと等価であることは、周知のとおりである¹⁾。

一方、同じ土木学会のもとの、コンクリート構造物の限界状態設計法では、次式の安全性照査式が用いられている²⁾。

$$\gamma_i \frac{\sum \gamma_a S(\gamma_i F_k)}{1/\gamma_b \cdot R(f_k/\gamma_m)} \leq 1 \quad (\text{解6.4})$$

ここに、 F_k : 設計荷重, f_k : 設計材料強度, S : 荷重効果(断面力), R : 抵抗値(断面耐力), γ_r : 荷重係数, γ_a : 構造解析係数, γ_m : 材料係数, γ_b : 部材係数, および γ_i : 構造物係数である。

式(解6.4)は、ISOの国際基準に準拠したものである。すなわち、式(解6.3)に見られる安全率 ν を5つの係数に割り振っている。そして、技術の進歩に合わせて、安全性を確保するための係数を変更しやすくした点に特徴がある。

式(解6.3)と式(解6.4)とを比較すれば、本質的な差異がなく、不確定要因については、どちらがきめ細かく対応できるフォーマットであるかという点だけが相違する。そこで、歴史的背景を考慮すれば、式(解6.2)、および式(解6.3)ともに、荷重効果の設計値 S_d と抵抗の設計値 R_d を比べてみて、式(解6.5)が成立すれば、安全性の確保ができていと考えられる。そして、設計値としては、 S_d と R_d をどのように決めるかという点が相違しているだけである。

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1 \quad (\text{解6.5})$$

鋼構造物に対する式(解6.3)を

$$S_d = \sum \nu S(F_d), \quad R_d = R(f_d) \quad (\text{解6.6a})$$

とおき、またコンクリート構造物の式(解6.4)を

$$S_d = \sum \gamma_i \gamma_a S(\gamma_i F_k), \quad R_d = 1/\gamma_b R(f_k/\gamma_m) \quad (\text{解6.6b})$$

とおけば、見かけ上、式(解6.5)の形に表現できる。すなわち、荷重効果と抵抗値とのそれぞれの設計値をどのように定め、また安全率をどのように評価するかが、設計フォーマットの相違によって現れているだけである。

そこで、鋼構造物設計指針の第2版では、鋼構造終局強度研究小委員会の抵抗値に関する最新の成果³⁾を取り入れ、抵抗の設計値を次式で表現している。

$$R_d = \phi r R_n \quad (\text{解6.7})$$

ここに、 r : 無次元化部材強度の平均値, R_n : 抵抗の下限値, および ϕ : 部材強度係数である。すなわち、1より小さい部材強度係数 ϕ を導入して、抵抗の設計値の確率的扱いを容易にする。ここで、部材強度係数を $\phi \leq 1$ とした理由は、低めの(小さな)抵抗値を取っているという意味を明確に表現するためである。

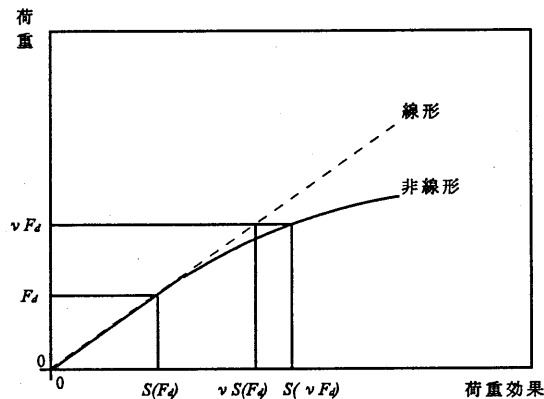
さらに、安全率を荷重効果の側にもつてゆき、荷重効果の設計値を次式で表すと、線形構造解析を前提とするときには、式(解6.8)で問題なく処理でき、安全率の意味が設計フォーマット上でも明確になる。

$$S_d = \nu S(F_d) \quad (\text{解6.8})$$

一方、非線形構造解析を利用する場合には、解説図 6.1から明らかなように、荷重効果 S は、 ν 倍された設計荷重 F_d に対して計算された値の方が大きくなる。そこで、前述のように、安全率のもつ役割が荷重効果と抵抗値との間に一定の比率以上の安全性を確保させることであることに留意すれば、

$$S_d = S(\nu F_d) \quad (\text{解6.9})$$

とした方が妥当な荷重効果の設計値を与える。このように、設計荷重 F_d を安全率倍 (ν 倍) した値によって、荷重効果を計算することは、合理的な考え方である。もちろん、線形構造解析の場合、式(解6.8)と式(解6.9)とが同じになる。かくして、式(解6.9)の中にみられる ν は、荷重係数でなく、あくまでも安全率であることに注意されたい。



解説図 6.1 荷重と荷重効果との関係

荷重効果が一つの場合、安全性の照査の基本式は、式(解6.5)で表現される。ところが、一般的な荷重状態を考えると、荷重効果(断面力)が一つの力やモーメントで表されることが少なく、いくつかの断面力が、構造部材に組合わさって生じることが想定される。そのような場合には、次式のように拡張するのがよい。

$$\sum_{i=1}^n \frac{S_{di}}{R_{di}} \leq 1 \quad (\text{解6.10})$$

この式は、それぞれの項が単独に存在するときも安全性の確保が保証され ($S_{di}/R_{di} \leq 1$ を指す)、また式(解6.5)をも含んでいる点で一般性を有している。

なお、具体的な合成構造物の終局限界状態の照査式については、本指針の各編を参照されたい。

6.3 使用限界状態の照査

合成構造物の使用限界状態の照査は、必要に応じて、以下の項目に対して行うものとする。

- (1) 鋼材の降伏、もしくはコンクリートの圧壊などの照査

$$\frac{\sigma}{\sigma_d} \leq 1 \quad (6.2)$$

ここに、 σ : 合成構造物に生じる応力 (kgf/cm²)

σ_d : 鋼材の降伏、もしくはコンクリートの圧壊などに対する制限応力値 (kgf/cm²)

(2) コンクリートのひび割れの照査

$$\frac{w}{w_d} \leq 1 \quad (6.3)$$

ここに、 w : 合成構造物のコンクリートに生ずるひび割れ幅 (cm)

w_d : 合成構造物のコンクリートのひび割れ幅に対する制限値 (cm)

(3) たわみの照査

$$\frac{\delta}{\delta_d} \leq 1 \quad (6.4)$$

ここに、 δ : 合成構造物に生ずるたわみ (cm)

δ_d : 合成構造物のたわみに対する制限値 (cm)

【解説】 (1) について

基本的な考え方は、6.2の終局限界状態と同様である。

(2) について

ここでは、合成床版や合成桁のコンクリート床版に発生する有害なひび割れを防止するために必要な照査方法の基本を示した。詳細については、以降の各編の該当する箇所を参照にされたい。

(3) について

合成構造物では、鋼構造物と同様に、振動や、それに伴う疲労に対処するため、たわみの制限を設けて、この制限が守られているか否かを照査する必要がある。ここでは、その基本原則を示すに留めた。

6. 4 疲労限界状態の照査

(1) 合成構造物に繰返し荷重が作用するときの疲労限界状態に対する安全性の照査は、次式によって行うものとする。

$$\frac{\Delta f}{\Delta F} \leq 1 \quad (6.5)$$

ここに、 Δf : 設計寿命中に予想される作用応力範囲 (kgf/cm²)

ΔF : 疲労強度 (kgf/cm²)

(2) 不規則な変動荷重が作用する場合の作用応力範囲 Δf は、マイナーの疲労被害則を適用して得られる等価応力範囲 Δf_e を用いるものとする。

【解説】 (1) について

合成構造物は、その設計寿命期間内に予想される変動荷重作用による疲労亀裂の発生、または、その段階的進展（伝播）による破壊を生じさせてはならない。疲労限界状態に対しては、6.1に述べた限界状態設計法の主旨を踏まえ、しかも式(解6.5)の応力表示のフォーマットで表された照査式を示した。

(2) について

供用を開始して、ある期間後には、疲労破壊に至ると考える。この期間中に作用する全変動応力範囲を分析して、ある代表応力範囲の組合せが $(\Delta f_1, \dots, \Delta f_i, \dots, \Delta f_n)$ で、それぞれの応力範囲が $(n_1, \dots, n_i, \dots, n_n)$ 回ずつ作用していたと整理できたとする。すると、これらの全応力範囲の全繰返し数による被害度は、次式のように表される。

$$\sum (n_i / N_i) = 1 \quad (\text{解6.11})$$

各応力範囲 Δf_i だけが単独に作用したとすると、 N_i 回で破壊する。このことから、これらの両数値は $\Delta \sigma - N$ 曲線式を満足するので、次式の関係が、保たれる。

$$\Delta f_i^m \cdot N_i = c \quad (\text{解6.12})$$

ここで、 $\sum n_i = N$ として、この N 回で破壊する応力範囲が、計算される。これが、変動応力範囲を一つの等価な応力範囲に換算したものである。そこで、これを Δf_e とすると、次式が、成り立つ。

$$\Delta f_e^m \cdot N = c \quad (\text{解6.13})$$

ここで、式(解6.12)、および(解6.13)の両式から c を消去すると、次式が、得られる。

$$N_i = (\Delta f_e / \Delta f_i)^m N \quad (\text{解6.14})$$

式(解6.14)を式(解6.11)に代入すると、 Δf_e は、次式で求められる。

$$\Delta f_e = \{ \sum (\Delta f_i^m \cdot n_i / N) \}^{1/m} \quad (\text{解6.15})$$

参考文献

- 1) 土木学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，土木学会，1987年11月。
- 2) 土木学会鋼・コンクリート共通構造設計基準小委員会：鋼構造とコンクリート構造の限界状態設計法に関する共通の原則，土木学会論文集，No. 450/I-20，pp. 13-20，1992年7月。