

【委員会報告】

合成構造物の設計・施工指針の作成

DRAFT OF DESIGN AND CONSTRUCTIONAL CODE FOR COMPOSITE STRUCTURES

土木学会鋼構造委員会・鋼構造終局強度研究小委員会・合成構造物の終局強度分科会

*Subcommittee on Ultimate Strength of Steel Structures
and Their Task Group
on Ultimate Strength of Composite Structures*

1. まえがき

はじめに、合成構造物の終局強度分科会の設立された経緯を本報告文で記録に留めると、以下のとおりである。すなわち、土木学会・鋼構造委員会・鋼構造物設計指針小委員会では、周知のとおり、1987年に鋼構造物設計指針 PART A、および PART B を刊行している¹⁾。それらは、鋼構造物の設計手法が旧來の許容応力度設計法から、限界状態設計法のフォーマットで書き替えられた斬新なものである。

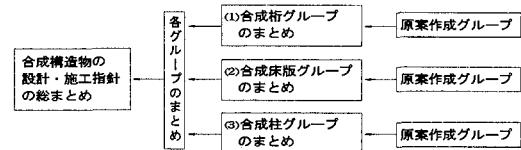
その後、土木学会・構造工学委員会・鋼・コンクリート共通構造基準小委員会では、ISO (International Standard Organization) が刊行した ISO 2394 の基準²⁾にしたがう鋼構造、およびコンクリート構造に共通する限界状態設計法をまとめている³⁾。

一方、限界状態設計法で不可欠な鋼構造物の圧縮力のもとでの抵抗を支配する座屈強度、すなわち終局強度に対しては、土木学会・鋼構造委員会・座屈設計のガイドライン作成小委員会によって、座屈設計ガイドラインがまとめられている⁴⁾。また、土木学会・鋼構造委員会・鋼構造終局強度研究小委員会では、上記のガイドラインを鋼構造物の終局強度と設計にまで拡張した報告書としてとりまとめている⁵⁾。

このような鋼構造物の終局強度の明確化に伴い、土木学会・鋼構造委員会・鋼構造物設計指針小委員会では、上述の指針 PART A¹⁾を改版して、新たな鋼構造物の指針を刊行している⁶⁾。しかしながら、旧版の PART B¹⁾の中に含まれている合成構造物の設計・施工指針については、時間的な制約もあり、何ら改訂の手が加えられなかった。

そこで、土木学会・鋼構造委員会・鋼構造終局強度研究小委員会の中に、合成構造物の終局強度分科会（以下、本分科会という）を設けてもらい、上述の鋼構造物の終局強度に関する数々の成果を踏まえ、合成構造物の終局強度と設計に関する調査・研究に取り組

表-1 分科会の構成とまとめの役割



むこととした。

そのような調査・研究としては、合成構造物の終局強度に関する厳密な理論を展開したり、また新たな合成構造物を開発・研究することでなく、現存する数々の合成構造物に関する終局強度を既存の報文によって調べ、それにもとづいて、土木学会としてどのような限界状態設計法を適用すべきであるのか、諸外国の設計示方書などを含めて論議をつくすこととした。そして、最終報告書をまとめるにあたっては、以下の目的のもとに作業を進めることとした。すなわち、上述の終局強度に関する数々の成果のほか、土木学会・構造工学委員会・鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン⁷⁾に記載の成果も踏まえ、しかも文献3)にもとづいた限界状態設計法のフォーマットにしたがう合成構造物の設計・施工指針（以下、本指針という）をまとめることを、主たる目的とした。

したがって、現在、土木構造物として多用されている合成構造物を対象にし、表-1に示す方針のもとに、鋭意、本分科会の独自の検討を進めた。

この表から明らかなように、本分科会で対象とする合成構造物としては、(1)合成桁、(2)合成床版、および(3)合成柱の3つとした。しかも、現在、土木構造物として適用されている合成構造物に限定して本指針を作成した。それ以外のものも、現在、数多くあり、今後、開発される合成構造物も多いはずである。しかし、本報告の2.に示す基本的な考え方や、6.に示す資料を参照にすれば、本指針は、それらに対して容易に対応できると考えた。

本指針は、鋼構造物設計指針、PART B 合成構造物として、1997年9月に土木学会より刊行された。

2. 本指針作成の基本的な考え方

限界状態設計法によって構造物を設計しようとする場合、限界状態としては、(1) 終局限界状態はもちろんのこと、(2) 使用限界状態、および場合によって、(3) 疲労限界状態についても、考慮しておかなければならぬ。

本分科会は、本来、合成構造物の終局強度について調査・研究を行うために設立されたものである。しかしながら、最終目的である合成構造物の設計・施工指針をまとめるにあたっては、終局限界状態のほか使用限界状態、および疲労限界状態についての調査・研究が不可欠となった。

しかも、合成構造物を施工する際、建設途上には、鋼構造物である場合が多い。そこで、そのような鋼構造物に対しては、文献6)の鋼構造物設計指針による総則、材料、荷重、および荷重の組合せ、構造解析、ならびに部材の強度にしたがうこととした。そして、合成構造物に対しては、上記によるほか、文献3)の限界状態に対する設計法の考え方を守り、以下に示すように、(1) 終局限界状態、(2) 使用限界状態、および(3) 疲労限界状態に対する照査を行うこととした。

(1) 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、次式で行うものとする。

$$S_d/R_d \leq 1 \quad (1)$$

ここに、

$$S_d = S(\nu F_d) : \text{荷重効果の設計値}$$

$$R_d = \phi R_n(f_d) : \text{抵抗の設計値}$$

で、 F_d ：設計荷重（荷重係数は用いない）、 ν ：安全係数、 S ：荷重効果（断面力、あるいは応力）、 f_d ：設計材料強度、 R_n ：抵抗値（規格値、あるいは公称値を採用する）、 ϕ ：部材強度係数（1.0以下の数値）。

(2) 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。

a) 鋼材の降伏、もしくはコンクリートの圧壊などの照査

$$\sigma/\sigma_d \leq 1 \quad (2)$$

ここに、

$$\sigma : \text{合成構造物に生ずる応力}$$

$$\sigma_d : \text{合成構造物における鋼材の降伏、もしくはコ$$

ンクリートの圧壊などに対する制限値

b) コンクリートのひび割れの照査

$$w/w_d \leq 1 \quad (3)$$

ここに、

$$w : \text{合成構造物のコンクリートに生ずるひび割れ幅}$$

$$w_d : \text{合成構造物のコンクリートに生ずるひび割れ幅の制限値}$$

c) たわみの照査

$$\delta/\delta_d \leq 1 \quad (4)$$

ここに、

$$\delta : \text{合成構造物に生ずるたわみ}$$

$$\delta_d : \text{合成構造物のたわみに対する制限値}$$

(3) 疲労限界状態の照査

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。

$$\Delta f/\Delta F \leq 1 \quad (5)$$

ここに、

$$\Delta f : \text{設計寿命中の等価応力範囲}$$

$$\Delta F : \text{疲労強度で、たとえば文献8)による。}$$

まえがきでも述べたように、本指針で具体的に取り上げた合成構造物としては、(1) 合成桁、(2) 合成床版、および(3) 合成柱であり、それらは個別の編に分けて、それぞれの設計・施工指針を示した。これらの設計・施工指針の作成も、上記の本指針作成の基本的な考え方によって行っている。

そこで、それらの要点のみを述べると、以下のとおりである。なお、それらいすれの合成構造物に対して使用する鋼材、およびコンクリート材料の強度や物理定数については、文献6)によるものとした。

3. 合成桁の設計・施工

わが国における合成桁は、1959年に日本道路協会から鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針⁹⁾が刊行されて以来、急速に普及し、数多くの単純合成桁橋が建設された。その後も、図-1に示すように、中間支点の上昇・降下やプレストレス材を用いて、コンクリート床版にプレストレス力を導入する連続合成桁橋も建設されるようになった。1973年に日本道路協会から、道路橋示方書・同解説II・鋼橋編が出され¹⁰⁾、プレストレスしない連続合成桁が加えられて以来、プレストレスを導入する連続合成桁は、急速に建設されなくなつた。

その後、床版の急速施工や耐久性の向上、ならびに都市における環境の保全を図るために、プレファブの

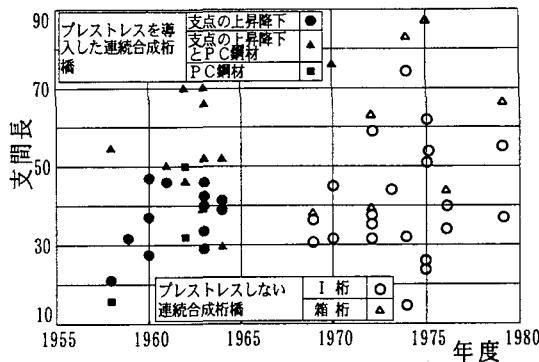


図-1 わが国における連続合成桁橋の変遷

鉄筋コンクリート（RC）床版やプレストレストコンクリート（PC）床版の技術も、著しく発展してきた^{11)～13)}。

このような状況下にあることや、これまでの合成桁に関する限界状態設計法の研究成果^{14)～15)}を踏まえて、合成桁のさらなる普及を期すために、以下で主要点のみ概述する指針が作成された。

(1) 適用の範囲

本指針は、単純合成桁、およびプレストレス、ならびにプレストレスしない連続合成桁で、RC床版、および合成床版を用いたものに適用する。

(2) 合成桁の分類

合成桁は、断面の回転性状により、コンパクト断面とノンコンパクト断面とに分類する。コンパクト断面を有する合成桁においては、全塑性モーメントに至るものとし、終局強度を塑性解析によって求める。ノンコンパクト断面では、鋼桁の最縁端が降伏強度に至るときを以て、終局強度とする。

コンパクト断面は、BS 5400¹⁶⁾、およびEurocode 4¹⁷⁾にもとづき、次式の条件を満足するものとする。

$$\left. \begin{array}{l} b_f/t_f \leq 9\epsilon \\ d_w/t_w \leq 33\epsilon/\alpha \end{array} \right\} \quad (6a,b)$$

ここに、 b_f ：鋼桁フランジの自由突出幅、 t_f ：鋼桁フランジの有効厚、 d_w ：鋼桁ウェブの純高さ、 t_w ：鋼桁ウェブ厚、 $\epsilon = \sqrt{235/F}$ 、 F ：鋼材の材料強度の規格値、 α ：圧縮域の鋼桁ウェブ高さ (d_{wc}) と鋼桁ウェブ純高さ (d_w) の比 ($= d_{wc}/d_w$)。

なお、鋼桁と床版との間の合成作用は、道路橋示方書で示されているように、通常のずれ止めを配置した完全合成作用を保有するものを対象とした。また、ずれ止めには、頭付きのスタッドを用いるものとした。

その他のずれ止めを使うときは、適切な試験¹⁸⁾を行って決めるものとした。

(3) 合成桁の限界状態の照査

合成桁の終局限界状態の照査は、先に示した式(1)によって行うものとした。

その際、連続合成桁の中間支点における曲げモーメントは、その値を15%だけ中間支点から支間中央に向かって再配分してもよいものとした。

(4) スタッドの疲労限界状態の照査

スタッドの疲労限界状態は、先に示した式(5)によって行うものとした。その際、スタッドのせん断に対する疲労強度 ΔF (MPa) としては、文献18)より、次式で求めるものとした。

$$\Delta F = 2.74 - 0.117 \log N \quad (7)$$

(5) 構造詳細

コンクリートを現場打ちする合成桁の場合、ハンチを設けるものとした。

コンクリート床版の有効幅は、道路橋示方書にしたがって求めるものとした。

プレキャスト床版を用いる場合には、スタッドの配置に留意しなければならない。この場合、スタッドを一箇所に集めたグループ打ちをする必要があり、その強度、および間隔は、適切な試験¹⁸⁾によって検証しておくものとした。

4. 合成床版の設計・施工

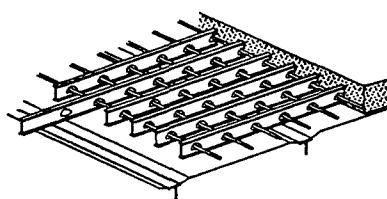
わが国では、場所打ちのRC床版が、経済性と建設の容易さから最も一般的に用いられている。しかし、1960年頃より、RC床版の重量の軽減と工期の短縮を図るために、表-2に示すように、各種の鋼・コンクリート合成床版が使われてきている。また、それらは、最近、問題になっている床版の活荷重による損傷に対しても、耐久性が高いことが示されている。

これらの合成床版の概略図を示すと、図-2のとおりである。このうち、同図(a)は、セミ・プレファブタイプのグレーチングで、長大橋の床版として広く用いられてきている。そして、同図(b)は、鋼板とコンクリート床版とをスタッドで結合するロビンソン床版の原形である。また、同図(c)～(f)は、いずれも、その応用例である。さらに、同図(g)は、スチール・ファイバーを入れた鉄筋コンクリート(SFRC)床版で舗装した鋼床版を示す¹⁹⁾。

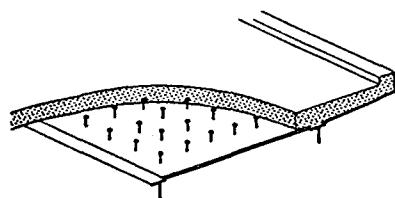
本指針では、これらすべての合成床版の設計に基本的に適用が可能であるようにした。しかし、このう

表-2 合成床版の分類

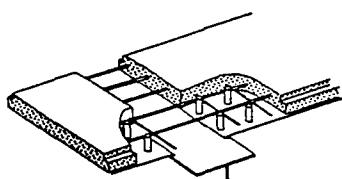
形 式	具 体 例
コンクリート 充填タイプ	<ul style="list-style-type: none"> ・グレーチング床版 ・形鋼を用いたプレキャスト形式の床版
ロビンソンタイプ	<ul style="list-style-type: none"> ・パイプをスタッドとして用いた床版 ・T形鋼を用いた床版 ・トラス形式のずれ止めを用いた床版（平面・立体形式） ・SFRCを舗装として用いた鋼床版



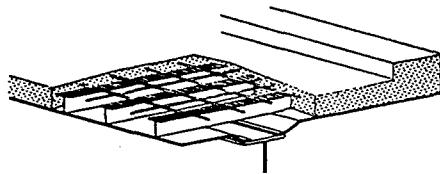
(a) グレーチング床版



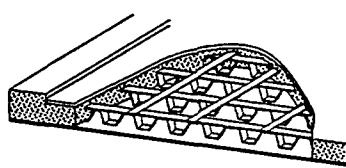
(b) ロビンソン床版（原形）



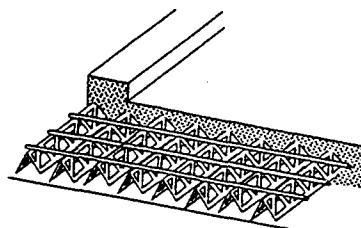
(c) パイプをスタッドとして用いた床版



(d) T形鋼を用いた床版



(e) トラス形式のずれ止めを用いた床版（平面形式）



(f) トラス形式のずれ止めを用いた床版（立体形式）

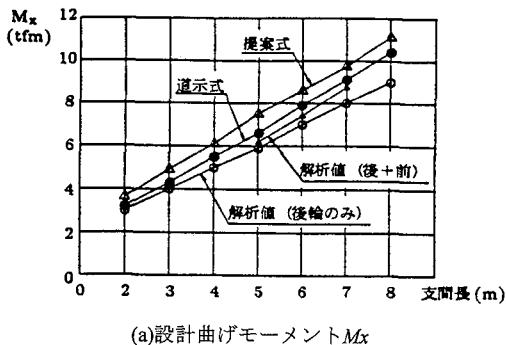


(g) SFRCを舗装として用いた鋼床版

図-2 各種の合成床版の概略図

ち、とくに(1)ロビンソン床版、および(2)グレーチング床版に焦点をあて、しかも過酷な自動車荷重を受ける道路橋の合成床版に絞って指針化を図った。その

理由としては、輪荷重移動載荷装置によって、上記の2つの床版の静的特性はもちろん、疲労特性が指針化できるまでに明確化されているからである²⁰⁾。



(a) 設計曲げモーメント M_x

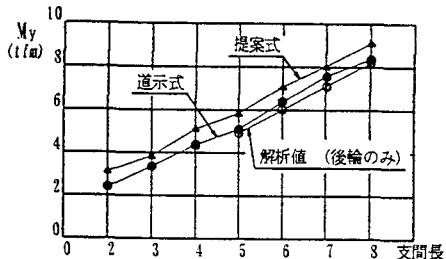


図-3 設計曲げモーメント M_x , および M_y

なお、実験によると、引張側のコンクリート断面を無視した弾性理論が有効であること、また終局限界状態がそれを延長した全塑性応力状態で求められることが明らかにされている。

以下、上記の(1)ロビンソン合成床版、および(2)グレーチング床版についての設計・施工指針の要点をまとめると、次のとおりである。なお、両床版とも、床版表面は、防水層を設け、漏水に備えるものとしている。

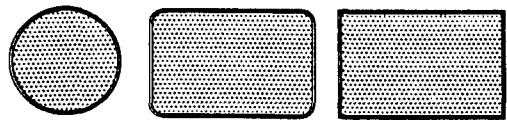
(1) ロビンソン床版

道路橋示方書では、床版の支間 $L(m)$ は、4 m 以下に限定されている。そこで、床版の支間 $L(m)$ を 8 m まで拡げ、少数主桁化を図った合成桁にも対応でき得るより合理的・経済的な試みを行った。その結果、① 鋼板の最小厚さは、製作性や腐食を考え 8 mm とする。② コンクリートの最小厚さ $h_c(cm)$ は、次式によるものとしている。

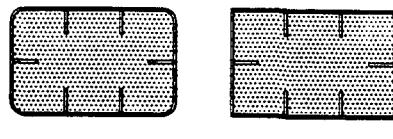
$$h_c = 2.5L + 10 \quad (8)$$

また、③ スタッドの直径は、 $\phi 16$ 、または $\phi 19$ とする。

上記にもとづく設計を行えば、実働輪荷重に対して 8~10 倍の終局強度をもち、終局限界状態に対する照査が不要である。そして、使用限界状態の照査に対する x 軸 (床版の支間方向)、および y 軸 (それと直角方向) 2 方向の設計曲げモーメント M_x 、および M_y は、等方性板の理論より求まり、図-3 に示すものが



i)
ii)
(a) 無補剛形式



i)
ii)
(b) 補剛形式

図-4 鋼管にコンクリートを充填する形式の合成柱

使用可能である。また、スタッドは、疲労に対するせん断応力範囲が 5 kgf/mm^2 を超えないように配置するものとする。

(2) グレーチング床版

グレーチング床版の設計曲げモーメントを、異方性版理論によって解析したが、結果として、ロビンソン床版で提案した図-3 とほぼ同じ値が提案された。

構造詳細として、① 使用する I 形鋼の高さは、105~200 mm のものを使用する。② 床版の全厚は、I 形鋼の高さに、40 mm を加えたものとする。③ I 形鋼と直角方向の板の剛度は、I 形鋼のある面内剛度の 0.4 倍以上を保有すべきである。また、④ I 形鋼の下フランジの最大応力が $1,400 \text{ kgf/cm}^2$ 以下ならば、I 形鋼の疲労の照査は、行う必要がない²⁰⁾。

5. 合成柱の設計・施工

1960 年頃に、わが国の建築分野では鉄骨鉄筋コンクリート (SRC)²¹⁾ が、また送電線を支える鉄塔ではコンクリートを充填した鋼管が用いられている。土木の分野では、1970 年頃から橋脚に合成柱が本格的に使われ始めた。

一方、同時期に諸外国では、BS 5400¹⁶⁾ や DIN 18806^{22)~23)}において、合成柱の設計基準も制定されている。また、わが国では、平成 7 年 1 月 17 日早朝に起こった兵庫県南部地震による橋脚の被害の甚大さにかんがみ、この種の合成柱の耐荷力やダクティリテーが注目され、活発な研究が行われつつある。

ここでは、本分科で作成した合成柱に関する設計・施工の概要を以下で示す。

まず、取り扱った合成柱としては、図-4 に示す鋼管の中にコンクリートを充填する形式のものを対象と

した。そして、強固な合成作用を確保するために、その両端には、剛なダイヤフラムを設けるものとした。つぎに、鋼管断面は、BS 5400¹⁶⁾やDIN 18806²³⁾を参考にして、荷重分担係数 η が、次式の範囲内にあるものを対象とした。

$$0.2 \leq \eta \leq 0.9 \quad (9)$$

(1) 合成柱の終局強度の照査

a) 軸方向圧縮力を受ける場合

軸方向圧縮力 P を受ける合成柱の終局強度の照査は、次式で行うものとした。

$$P/P_u \leq 1 \quad (10)$$

ここに、 $P_u = \phi x(f_{cuo}^* A_s + 0.85 f'_{cd} A_c)$ ：合成柱の軸方向圧縮力に対する終局強度、 f_{cuo}^* ：局部座屈を考慮した圧縮鋼板の最大応力度、 f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度、 A_s ：鋼管の断面積、 A_c ：充填コンクリートの断面積、 ϕ ：合成柱部材の抵抗係数、 x ：全体座屈に対する低減係数、である。

b) 軸方向圧縮力と曲げモーメント M を同時に受ける場合

一軸曲げモーメント M を受けるとき：

$$\frac{M}{M_u \left[1 - \frac{P}{P_{cr}} \right]} \frac{1}{\psi} \leq 1 \quad (11)$$

二軸曲げモーメント M_y 、および M_z を同時に受けるとき：

$$\left\{ \frac{M_y}{M_{yu} \left[1 - \frac{P}{P_{cru}} \right]} + \frac{M_z}{M_{zu} \left[1 - \frac{P}{P_{crz}} \right]} \right\} \frac{1}{\psi} \leq 1 \quad (12)$$

ここに、 $M_u = \phi f_{cuo}^* Z$ ：合成柱の終局曲げモーメント(M_{yu} 、および M_{zu} も、これに準ずる)、 f_{cuo}^* ：局部座屈を考慮した圧縮鋼板の最大応力度、 Z ：塑性断面係数、 P ：合成柱に作用する軸方向圧縮力、 P_{cr} ：合成柱の弹性座屈荷重(P_{cru} 、および P_{crz} もこれに準ずる)、 ψ ：合成柱のM-N相関曲線に基づく係数、である。

(2) 合成柱の構造詳細

まず、合成柱と鋼製梁との結合部において、フランジ幅の半分以上にコンクリートが充填されている場合、結合部にせん断遅れの現象が起こり得ないので、その現象が無視できるものとした。

つぎに、ダイヤフラムとしては、3種類のものが示された。すなわち、① 合成柱両端のダイヤフラム、および② 柱と梁との結合部のダイヤフラムで、鋼管と充填コンクリートとの間にずれが生じないようにするためのものである。また、③ 中間部のダイヤフラムは、鋼管が製作中、あるいは運送中に局部座屈しな

いようにするためのものである。

さらに、長方形断面の鋼管柱では、かどの部分をすみ肉溶接にすると、欠陥が生じやすいので、すべてグループ溶接にて接合することとした。

6. 本指針の背景とした資料とそれらの比較・検討

本指針の作成にあたっては、諸外国をはじめ我が国で基準化された合成構造物の設計基準を参照にした。そして、本指針とそれらとを比較・検討し、本指針が偏ったものにならないよう心掛けた。

たとえば、合成桁に対しては、文献14), 15), 1), 24)および25)を参照にしたほか、BS 5400¹⁶⁾、AASHTO²⁶⁾、SIA²⁷⁾、ならびにCHBBC²⁸⁾も参照にした。

そして、合成柱に対しては、DIN 18806^{22)~23)}、BS 5400¹⁶⁾、およびEurocode 4¹⁷⁾のほか、文献21), 29)、ならびに30)を参照にして基準化を行った。

また、合成床版の指針を作成する場合、文献10)のほかには、比較・検討の対象とするものがあまり見当たらなかった。そこで、参考資料としては、鋼板コンクリート合成床版の最小床版厚さ、鋼板厚さ、および設計断面力を示し、文献10)との比較・検討結果を資料として添付した。このほか、スタッダの疲労特性を現場継手構造に応じて検討した成果も示した。さらに、I形鋼格子床版の設計断面力も、資料として加えた。

7. まとめ

本分科会では、土木学会・鋼構造委員会編による合成構造物の設計・施工指針の作成を目指して、平成5年11月から平成8年9月までの4年間にわたる活動を行ってきた。

その内容としては、合成構造としてより一般的な(1)合成桁、(2)合成床版、および(3)合成柱に対して、限界状態設計法のフォーマットにしたがう設計・施工法を示すに至った。また、それらの指針に対しては、資料編において、諸外国の設計基準などとの比較・検討も行い、本指針の根拠を明らかにした。

しかしながら、さらに多くの提案や諸問題点の指摘があるのも事実で、それらについては、土木学会・鋼・コンクリート合成構造連合小委員会での今後の調査・研究に委ねたい。また、一方、土木学会として荷重係数などの各種の安全係数の設定を早急にされるることは、論を待たないところである。

最後に、本分科会において、ご協力を戴いた委員各

位の名簿を掲げると、以下のとおりである（50音順、敬称略、○印幹事兼務、平成8年9月現在、（）内は旧委員）。

土木学会・鋼構造委員会・鋼構造終局強度小委員会：倉西 茂（委員長）・同合成構造物の終局強度分科会：中井 博（主査）、（飯村 修）、池田秀夫、石崎 茂、市川篤司、（一榎久允）、祝 賢治、上田多門、（植村俊郎）、柄川伸一、大田孝二、川口直能、亀井正博、清宮 理、木村秀雄、熊谷洋司、○栗田章光、○佐藤政勝、塩屋俊幸、清水功雄、上仙 靖、鈴木智郎、武田芳久、垂水祐二、中島章典、浜田純夫、日野伸一、平城弘一、松井繁之、水野英二、（山本悟司）、柳本泰伴、吉川 紀、○依田照彦

また、土木学会事務局の河西貴志氏には、委員会の事務手続きなどで種々お世話になった。ここに、記して深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 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、およびPART B、特定構造物、鋼構造シリーズ3A、および3B、1987.
- 2) ISO: International Standard ISO 2394, General principles on reliability for structures, Second edition, 1986-10-15.
- 3) 土木学会・構造工学委員会・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に関する共通の原則、土木学会論文集、No. 450/I-20, pp. 13~20, 1992.
- 4) 土木学会・鋼構造委員会・座屈設計のガイドライン作成小委員会：座屈設計ガイドライン、鋼構造シリーズ2, 1987.
- 5) 土木学会・鋼構造委員会・鋼構造終局強度小委員会：鋼構造の終局強度と設計、鋼構造シリーズ6, 1994.
- 6) 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、鋼構造シリーズ⑨A, 1997.
- 7) 土木学会・構造工学委員会・鋼・コンクリート合成構造小委員会：鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン、構造工学シリーズ3, 1989.
- 8) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、技報堂, 1993.
- 9) 日本道路協会：鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針、1959.
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、鋼橋編II、丸善、1973.
- 11) 中井 博編：プレキャスト床版合成桁の設計・施工、森北出版, 1988.
- 12) 川田忠樹監修、野村國勝・梶川靖治編著：複合構造橋梁、技報堂, 1994.
- 13) NCB研究会編：新しい合成構造と橋、山海堂, 1996.
- 14) 土木学会関西支部共同研究グループ：限界状態設計法による合成桁橋の設計法に関する研究、報告書、1988.
- 15) 運輸省鉄道局・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説：鋼・合成構造物第2編、鋼とコンクリートとの合成鉄道橋、1992.
- 16) BSI: BS 5400, Steel, concrete and composite bridges, Part 5, Code of practice for design of composite bridges, 1979.
- 17) IABSE: Composite Steel-Concrete Construction and Eurocode 4, Short Course, Brussels, 1990.
- 18) Maeda, Y., Matsui, S. and Hiragi, H.: Effect of Concrete-Placing Direction on Static and Fatigue Strength of Stud Shear Connectors, Tech. Rept. of the Osaka Univ., Vol. 33, No. 1733, pp. 397-406, Oct. 1983.
- 19) 名古屋高速道路公社：舗装設計基準、pp. 20~23, 1978.
- 20) Matsui, S., Fukumoto, Y., Moon, T. and Watanabe, H.: Fatigue Behavior and Fatigue Design of Steel Plate-Concrete Composite Decks, ICCS-3 Conference Fukuoka by ASCCS, pp. 515-520. Sept. 1991.
- 21) 日本建築学会：鋼管コンクリート構造設計規準・同解説、1967.
- 22) Deutsche Industrie Norm: Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern, März 1981.
- 23) Deutsche Industrie Norm: DIN 18806, Teil 1, Verbundkonstruktionen, Verbundstützen, März 1984.
- 24) 土木学会関西支部共同研究グループ：プレキャスト床版を用いた合成桁橋の耐荷性と実用化に関する研究、報告書(1), および(2), 1985., および1986.
- 25) プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレキャスト床版設計・施工マニュアル, 1994.
- 26) AASHTO: Draft LRFD Bridge Design Specifications and Commentary, Modzeski and Masters, Inc. Consulting Engineers, March 1993.
- 27) Swiss Society of Engineers and Architects: SIA 161, Steel Structures, 1979.
- 28) CHBDC: Section 10, Steel Structures Code, Draft 2, June 1994.
- 29) 首都高速道路公団：合成橋脚の設計・施工指針、1983.
- 30) 阪神高速道路公団：合成柱（充填方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針(案)、1986.

(1998.1.22 受付)