

合成構造の設計法とその問題点

—土木構造物—

池田尙治*

1. はじめに

合成構造を構造物レベルにおける鋼部材とコンクリート部材との混合構造まで含めれば、土木の分野ではきわめて多種の構造物がこれに該当する。たとえば鋼橋脚は、ほとんど常に鉄筋コンクリート(RC)フーチング等のRC基礎にアンカーフレームとアンカーボルトとを介して接合されているし、钢管くいを用いた基礎構造では、钢管くいはRCフーチングとくい頭で剛結されている。これらは、異種部材間あるいは異種構造間の接合の問題として捉えることができる。

一方、合成構造を部材レベルでの合成とすれば、土木の分野では次のような種々の形式のものがある。すなわち、鋼合成げた、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)、プレビーム、SCくい、合成床版等が掲げられるが、これらのうちでもっともなじみ深いのが鋼合成げたである。このほかに、プレストレスコンクリート(PC)けたとRC床版とを合成させたPC合成げた構造もある。

ここでは、部材レベルで合成されたこれらの構造について、設計法と問題点について述べる。

2. 部材レベルでの合成の概念

鋼とコンクリートとがそれぞれに断面の剛性をもち、それらを一体として1つの断面を形成させたものが部材レベルでの合成である。この場合、形成された断面における鋼とコンクリートとが一体となって平面保持の仮定が成立する場合には、この断面は完全に合成されたと言える。一方、鋼断面とコンクリート断面とが単に重ね合わされただけで両者を一体とした断面が平面保持の仮定を満足しなくとも、構造的には重ねばり的に耐力機構を形成することができる。前者を完全合成機構と呼ぶならば、後者は重ねばり機構あるいは累加機構と呼ぶことができる。部材レベルでの合成構造には、鋼とコンクリー

トとの界面における付着あるいは結合の程度に応じて前者と後者の中間の構造が存在する。

合成断面において鋼断面とRC断面とがそれぞれ十分なせん断耐荷機構を有していて両者の中立軸の位置が等しければ、重ねばり形式となって、鋼とコンクリートとの界面での応力伝達機構は必要でない。この場合、鋼断面が十分なせん断耐荷機構をもたない場合には、鋼とコンクリートとの界面の付着による応力伝達機構が必要とされる。

鋼断面とRC断面との中立軸の位置が異なるれば、両者の間でせん断力によるずれ変位が生じ、これを拘束すれば、一体断面としての剛性は重ねばり機構の場合に比べて相当に増大する。

鉄筋コンクリートは合成構造の中でどのように位置付けられるであろうか。鉄筋を鋼部材とし、コンクリートを圧縮側のみ考えた断面とするならば、両者は平面保持の仮定を満足するとしている。したがって、鉄筋コンクリートは理論上、鋼断面の剛性をゼロとした完全合成機構の合成構造と言うことができる。

部材レベルでの合成構造を設計の観点から考える場合は、想定した荷重状態で部材の合成機構をどの程度確保するかが重要なポイントである。

なお、鋼断面がRC断面中に単に埋め込まれている重ねばり形式であっても、鋼断面はコンクリート中で局部座屈や全体座屈の耐力が大幅に向上するので、合成機構が不完全であっても力学的な有利性をもつことに注意することが必要である。また、コンクリート中に鋼材を埋め込むことによって鋼材の防錆と耐火性をいちじるしく高める効果も忘れてはならない。

3. 合成構造の設計方法

3.1 鋼合成げた

土木の分野では、合成構造と言えば鋼合成げたと言つてもよいぐらい合成構造のうちで広く用いられているも

* 正会員 横浜国立大学教授 工学部土木工学科

表-1 鋼合成げたの規準類

制定機関・規準類名 (制定年月日)	摘要
日本道路協会 「道路橋示方書」 Ⅱ. 鋼 橋 篇 9. 合 成 著 (昭 55. 2)	① 次に示す荷重のもっとも不利な組合せを用いて降伏に対する安全度の照査をする。 $1.3 D, 2.0(L+i)$, プレストレス, コンクリートのクリープの影響, コンクリートの乾燥収縮の影響。
国 鉄 「建造物設計標準（鋼とコンクリートの合成鉄道橋）」 (昭 48.11)	① 合成げたに特有な事項を規定し, 鋼およびコンクリートに対してはそれぞれの設計標準による。 ② ずれ止めは「プレートを馬蹄形に曲げたものに輪形筋をつけたもの」と「スタッフ」を標準とする。

のである。表-1 に鋼合成げたの設計基準を示す¹⁾。ここでは、表に示した設計基準のうちの道路橋示方書を中心に、鋼合成げたの特徴と設計方法について述べることにする²⁾。

鋼合成げたの特徴は、鋼げたの上側フランジ上面に R C 床版を結合して一体構造としたものであり、鋼げたの圧縮フランジの寸法を小さくできること、断面の剛性を大幅に大きくできること等によって経済的な構造となることである。

鋼合成げたは、合成された断面がすべての荷重作用に抵抗する死活荷重合成げたと、死荷重は鋼げたのみが受け、活荷重のみを合成断面で抵抗する活荷重合成げたとがある。前者は、支保工上に鋼げたを配置した状態で床版のコンクリートを打ち込み、コンクリートの硬化後に支保工を撤去するものである。後者は鋼げたをまず架設し、これを支えとしてその上に R C 床版を築造するもので、鋼げたの自重と R C 床版の重量とを鋼げたのみで負担し、床版のコンクリートの硬化後に作用する荷重を鋼げたと R C 床版とが一体となった断面で抵抗することになる。この工法は、架設時に支保工が省略できることから架設が容易であり、支間 30 m 程度の道路橋に多用されている。この構造は、しかしながら R C 床版の乾燥収縮が鋼げたによって拘束されるために、R C 床版のコンクリートには橋軸直角方向のひびわれが生じやすい。この点、前者の死活荷重合成げたでは、支保工を撤去するときに R C 床版の橋軸方向に圧縮応力が導入されるために、床版のひびわれに対しては有利である。

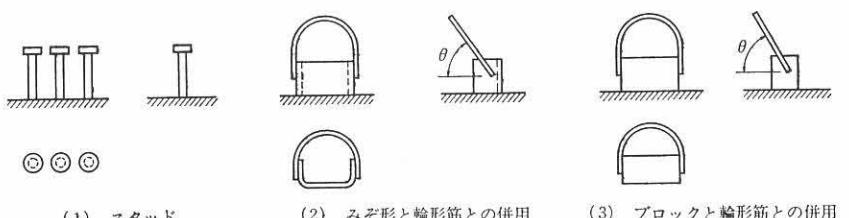
鋼合成げたでは単純げたと連続げたとがあるが、一般

に広く用いられているのは単純げたで、支間は 20 m から 40 m 程度までのものが多い。連続げたの場合には、中間支点上で R C 床版に引張応力が作用するために床版の橋軸方向にひびわれが生ずることとなり、何らかの対策が必要とされる。中間支点上の R C 床版へのプレストレスの導入、架設時に中間支点部をジャッキアップしておいて床版コンクリートを打ち込み、硬化後にジャッキダウンして応力調整を行う工法等の対策があるが、いずれも施工が煩雑となるために、あまり用いられていない。日常よく見られる鋼連続げたで R C 床版をもつ橋りょうは、多くの場合、非合成の連続げた構造である。

鋼合成げたの設計法の基本は、鋼げたと R C 床版との完全合成機構を仮定していることである。そのため、鋼げた上フランジの上面には 図-1 に示すようなずれ止め材が必要であり、その設計は、主としてずれ止め材前面におけるコンクリートの支圧応力を指標として行われている。

主げたの断面応力度、弾性変形、および不静定力の計算に際しては鋼材とコンクリートとのヤング係数比を 7 を標準としている点が、SRC 等の場合とやや異なる点である。ただし、死活荷重合成げたのように合成断面に持続荷重が作用する場合には、クリープ係数を 2.0 としてコンクリートの弾性を計算上低減している。

床版コンクリートの乾燥収縮に対しては、最終収縮度を 180×10^{-6} 、クリープ係数を 4.0 として検討することとしている。ここでクリープ係数に大きな値を用いているのは、コンクリートの乾燥収縮が材令の初期に顕著であることを考慮したものである。コンクリートの乾燥収縮によって鋼げたに発生する応力に着目するならば、ある値以上の乾燥収縮ひずみが生ずるとコンクリートにひびわれが生ずるために、それ以上の応力が鋼げたに生ずることはない。したがって、コンクリートの乾燥収縮ひずみの値として、コンクリートの伸び能力に近いひずみを用いることはきわめて妥当のことである。しかしながら、一方、コンクリートに着目して考えるならば、実際にコンクリート床版に生ずる乾燥収縮の最終ひずみは 500×10^{-6} 程度となるものと思われ、床版コンクリートの橋軸方向にひびわれが発生することになるのである。したがって、現行の道路橋示方書では、鋼合成げた

図-1 ずれ止め（道路橋示方書）²⁾

のRC床版に橋軸方向のひびわれを許容しているとも考えられよう。

コンクリートの許容引張応力度については、すべての荷重が作用した場合に、版の上下縁で $\sigma_{ck}/15$ 、かつ 25 kg/cm^2 以下とされ、版厚の中心で $\sigma_{ck}/25$ 、かつ 15 kg/cm^2 以下とされている。ただし、この値は、引張力を受ける版においてコンクリートの断面を有効として設計を行う場合に適用する。単純げたの場合には乾燥収縮が作用するとき等がこれに該当するが、コンクリートのヤング係数を $0.3 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、クリープ係数を 4.0、乾燥収縮ひずみを 180×10^{-6} とすれば、コンクリート版に生ずる引張応力度はたかだか 10 kg/cm^2 程度となって、設計計算上からは問題がない。また、RC床版は当然のことながら鉄筋コンクリートとして計算されるので、床版作用によるコンクリート引張縁の引張応力度に対しては、この許容値は適用しない。

RC床版と鋼げたとの間に温度差が生ずると両者に応力が発生するので、これに対する検討も必要である。この温度差は 10°C を標準とし、両者の線膨張係数は 12×10^{-6} としている。乾燥収縮と温度差とを同時に考える場合には許容値の割増しを 20% としているが、温度差の影響は計算上でRC床版にとってきびしい値となる。

以上に述べた鋼合せげたの設計方法は弾性理論による許容応力度法であるが、同時に降伏に対する安全度の照査として、死荷重の 1.3 倍と活荷重の 2.0 倍、およびクリープと乾燥収縮を考慮して弾性計算による照査を行うこととしている。

3.2 鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) の設計法

土木の分野では、鉄骨をコンクリート中に埋め込んだいわゆるメラン構造がコンクリートアーチ橋等に用いられてきたが、本格的な鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) の採用は、昭和 42 年に首都高速道路公団において SRC 設計基準を制定してからである。この設計基準は、日本建築学会の SRC 構造計算規準に準拠している。その後、阪神高速道路公団においても、首都高速道路公団の設計基準とほぼ同様の基準を定めた。本州四国連絡橋公団では、SRC 構造の採用を見越して橋脚を対象とした設計指針の作成を昭和 49 年度に土木学会に委託した。このときに作成された設計指針は、土木の分野において土木学会が SRC 構造を取り組んだ最初のものであり、日本建築学会で提案された累加方式を基本とし、首都高速道路公団や国鉄等における SRC に関する実績や実験研究を踏まえて作成された。また、この設計指針の中では、せん断に対する設計方法、ひびわれに対する検討方法、鉄骨端部の処理方法等に対して従来の土木分野では見られない方法が提案され、これに対する確認実験が行われ、その妥当性が裏付けられた³⁾。また、この時期に

は、建設省や国鉄においても土木学会等における討議を参照して、それぞれの SRC 設計指針が定められた。一方、日本道路公団においては、高橋脚の設計に鉄筋と併用した鉄骨を用いて鉄骨鉄筋コンクリートとする方式が用いられていたが、設計の基本は鉄筋コンクリート方式であった。

本州四国連絡橋公団では、具体的に実構造物に SRC 構造を適用する段階になって、先に土木学会に委託して作成した設計指針をそのまま大型の橋脚に適用するには必ずしも十分でないことが認められた。なぜなら、設計指針は主として都市内に建設された橋脚の実績等に立脚していたからである。そこで同公団では、大型構造物に適用できるような獨得の設計要領の作成を行い、実験によってその妥当性を確認するとともに^{4),5)}、門崎高架橋にその設計方法を採用して、その有用性を確かめた^{6),7)}。この設計要領の主な特色は、柱部の軸方向鋼材である H 形鋼をスタッドジベルを用いてフーチングに定着することによってアンカーフレームを省略すること、せん断の設計に鉄筋コンクリート方式を導入し、かつ斜材によるプレース効果を規定したこと等である。

土木学会においては、コンクリート委員会の中に限界状態設計法小委員会を設けて限界状態設計方法の基準案を作成しているが⁸⁾、その中に SRC の分科会を組織して限界状態に基づく SRC の設計基準の検討を行ってきた。そこで検討され提案された設計基準の案は、以上に述べてきた土木の分野における SRC 構造を包括できるように設計概念を分類した点に特徴がある。この基準案の特徴は、SRC 構造を累加型、鉄筋鉄骨並用型、架設主型の 3 つの形式に大別したこと、使用限界状態（筆者は供用限界状態としたい）の検討においては断面の平面保持の仮定に基づく検討を行うこと等を定めたことである。この案は、あくまで 1 つの提案であるので、今後これを原案として十分な検討をすることが必要である。そこで、ここでは基準案の本文と解説の一部を付録として示すことにする。表-2 に、以上に述べた SRC の規準類の一覧を示す。

SRC の設計方法としては、完全合成を期待する RC 方式と、鉄骨部分と RC 部分とを加え合わせる累加方式とがある。RC 方式の場合には鉄骨とコンクリートとの付着が確保されていることが前提条件であり、累加方式の場合には鉄骨部分が独自に所要のせん断耐荷機構を有することが必要である。SRC 構造の実際の力学的挙動は、若干の付着の効果が必ず存在するために、完全合成と完全累加との中間的状態を保つことができる。このため、設計基準を定めるにあたっては自由度が大きいが、また複雑なものとなり得るのである。

累加方式は本来、終局強度設計法の考え方によつても

表一 SRC 構造の規準類（中野・山寺・池田）

制定機関・規準類名 (現在版の制定年月日)	摘要
国 鉄 「鉄骨鉄筋コンクリート構造物」設計指針 (昭 51.11)	① RCの中に鉄骨を埋め込んだ構造を原則とし、鉄骨の重心と部材重心がはなはだしく離れていないことが前提。 ② H形鋼埋込みけたは、「建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物)」による。
本州四国連絡橋公団 (土木学会) 「鉄骨鉄筋コンクリート構造設計指針」 (昭 52. 8)	① 本州四国連絡橋公団が土木学会に委託し、土木学会の委員会で昭和 50 年 3 月に作成。 ② 付着によるせん断力の伝達を考慮。 ③ ひびわれに対しては、鋼材中の鉄骨比率により許容応力度を低減することにより配慮。 ④ 鉄骨端部の処理に関する規定あり。
本州四国連絡橋公団 「大型鉄骨・鉄筋コンクリート橋脚設計要領(案)」 (昭 54.11)	① 鉄骨斜材はダブルワーレントラス形式が原則。 ② 最小鉄骨斜材量の規定がある。 ③ 埋込部の鉄骨には、その全強に対してもタッジベルを打ち、定着させる。
日本道路公団 「設計要領」 3-3-4 鉄骨鉄筋コンクリートの設計 (昭 55. 4)	① 鉄骨断面はできるだけ少なく抑える。配筋上可能なだけ鉄筋を配置し、残りを鉄骨とする。 ② 終局強度を増大させるため、鉄骨の縱方向部材相互の横つなぎをトラス状に組む。
首都高速道路公団 「鉄骨鉄筋コンクリート設計基準」 (昭 47. 7)	① 昭和 42 年 3 月に、首都高速道路公団の「鉄骨鉄筋コンクリート設計基準」が制定され、その後改訂されたもの。現行の基準では、首都・阪神両公団とも基本的な設計法に相違はない。 ② 柱定着部はアンカーフレームにより鉄骨を定着するため、鉄筋を外側に折り曲げ定着する。よって、そのことに対する設計上の注意点を記載。
阪神高速道路公団 「鉄骨鉄筋コンクリート設計基準」 (昭 45. 9)	① RC方式を基本としているが、累加方式についても規定している。 ② 土木学会の SRC 小委員会(本四公団委託)での議論の結果が反映されている。
建 設 省 「鉄骨鉄筋コンクリート設計指針案」 (昭 50. 2)	① RC方式を基本としているが、累加方式についても規定している。 ② 土木学会の SRC 小委員会(本四公団委託)での議論の結果が反映されている。

のであるので、限界状態設計法が脚光を浴びている現在の情勢から考えると、きわめて先駆的なものであったと言えよう。また、累加方式は設計計算が簡単であることも見逃せない。土木の分野では一般に軸力の大きい柱を設計する例は少ないので、累加方式の特徴が必ずしも十分に理解されてはいないようであるが、建物のように軸力が大きく、かつ鋼材量が多い場合には過鉄筋設計となって、通常の RC 方式による許容応力度法では SRC 構造に対して合理的な設計ができないのである。

限界状態設計法による検討方法は、SRC 構造の設計法をより合理的なものとする場合にきわめて有用であると思われる。

3.3 その他の合成構造

鋼げたの強度をより有効に活用し、かつ独特の特徴をもった合成構造として、プレビーム合成げたがある⁹⁾。プレビーム工法はプレフレックス工法とも呼ばれ、あらかじめ鋼げたに曲げ変形を与えておいて、引張側フラン

ジの周間に鉄筋を配置してコンクリートを打ち込み、硬化後に曲げ変形力を解除してコンクリートにプレストレスを導入する工法である。このけたを現地に架設し、もう一方のフランジを上側として、その上にコンクリートを打ち合成させる合成構造である。ウェブ部分にもコンクリートを打ち込むので、出来上がった外見はまったくのコンクリート構造である。しかしながら、設計計算は鋼合成げたの設計法に基づくものである。設計上の特徴としては、鋼げたの高を低くすることにより、けた下空間の確保が図れること、このために合成後の活荷重に対するたわみの計算に引張側コンクリートの効果を含めたこと、および鋼げたの周囲をコンクリートで被覆しているために鉄道構造物の場合に騒音の問題がないこと、鋼げたの塗装が不要であること等があげられる。

合成構造を基礎構造に応用した例として SC くいがある。SC くいは薄肉の鋼管の内部に遠心力でコンクリートを付着させた構造で、PC くいに較べて韌性の優れたくないである。SC くいの設計には設計基準¹⁰⁾が定められており、設計の基本は RC 方式の許容応力度法であるが、コンクリートの設計基準強度を 800 kg/cm² とし、ヤング係数比を 6.0 としているので、計算上からは許容応力度法でも困難はない。

3.4 国外における設計基準

表-3 に、国外における合成構造の設計基準を示す。この中で、ヨーロッパ国際統一規準(1979)は比較的最近のものであるが、SRC 構造のような形式に対しても完全合成機構に基づくものとなっており、わが国の SRC 構造の基準に見られるような累加方式となっていない。この点で、この規準は実用性に問題があるものと思われる。

4. 合成構造の問題点

すでに前章までに問題点についても触れているので、ここでは別の観点から問題点を列記することとする。

鋼合成げたの場合には、RC 床版の耐久性や劣化防止に力点を置いた設計方法とするのがよいと思われる。

SRC 構造の場合には、まだ土木の分野では設計方法が十分に確立されているとは言えないが、今後の発展のためには次のような点に留意することが必要であろう。すなわち、SRC 構造は鋼構造としての設計と RC としての設計が必要であり、設計図も両者が必要である。そのうえ、鋼材と鉄筋との取り合い、コンクリートの打ち込み性等、通常の RC 構造物よりもはるかに煩雑である。SRC 構造のもつている好ましい韌性や耐力性能を十分に発揮させるためには、正常な鉄筋の配置とコンクリートの行き渡りが不可欠である。そのためには、構造上で無理な設計をしないことが肝要であろう。

表-3 外国における鋼・コンクリート合成構造関連規準類の概要（栗田章光）¹¹⁾

規 準 名	対 象 構 造 物	特 徴
アメリカ 合衆国	AASHTO (12th ed. 1977) 道路橋用 ・合成Iげた ・合成箱げた	① 許容応力法と荷重係数法との2種類の設計法を併用している。 ② 強度設計法において、コンパクトな断面が成立するための条件がかなり厳しい。 ③ ハイブリッド合成げたの規定がある。 ④ ずれ止めおよび中間支点上の軸方向筋に対して疲労設計の必要がある。
	AREA 15-5 (1978) 鉄道用合成げた	① 許容応力度法である。 ② スタッドに関する事項が詳細に記載されている。
西ドイツ DIN	Richtlinien für Stahlverbundträger (1980) 道路・鉄道橋および建築用 ・合成げた	① 限界状態設計法である。 ② 合成げたの統一規準である。 ③ 部分安全係数が1つにまとめられているので照査式が簡略である。 ④ コンパクト断面が成立するための条件がゆるい。 ⑤ プレキャスト版用の摩擦合成の規定がある。
	DIN 18806 Teil 1 (1980) 土木および建築用 ・合成柱	① 限界状態設計法である。 ② 合成柱の統一規準である。 ③ 基本耐荷力曲線は ECCS のものを使用している。 ④ 設計用の $N-M$ 相関図が示されている。
イギリス BS 5400 Part 5 (1979)	道路および鉄道橋用 ・合成Iげた ・合成箱げた ・埋込みおよび充填げた ・合成床版 ・合成柱	① 限界状態設計法である。 ② 合成橋りょうの総合・統一規準である。 ③ プレキャスト版使用のためのスタッドのグループ配置および高力ボルトの使用が可能である。 ④ ずれ止めの標準試験法の規定がある。 ⑤ 永久型わくの規定を設けている。 ⑥ 合成柱の規定も目新しい。
ヨーロッパの国際統一規準 CEB-ECCS-FIP-IABSE Draft Model Code (1979)	建築および橋りょう用 ・合成げた(はり) ・合成床版 ・合成柱	① 限界状態設計法である。 ② 各国で設計規準を作成する際の指針。 ③ 構造物の安全性に関する一般原則の使用に対しとくに注意が払われている。 ④ ずれ止めに対する指針が詳細である。 ⑤ この指針の骨子は CEB-FIP, DIN および BS の各規準に基づいている。

SRC 構造を限界状態設計法で検討する場合には、限界状態を、終局限界、供用限界、劣化限界の3つに大別し、ひびわれの影響は主として劣化限界に含めて検討するのがよいと思われる¹¹⁾。

なお、SRC 構造の場合、架設期間が長いと鉄骨が錆びて問題が生ずる。このような場合も含めて、鉄骨の塗装についての規定も必要であろう。

5. おわりに

合成構造の設計法について土木の立場からの概説を試みたが、主として採り上げた内容は鋼合成げたと SRC であって、必ずしも広い視点から述べたものとはなっていない。合成構造については境界領域であって種々の見方や考え方があると思われる所以、今後とも大いに討議をして合意を得てゆくことが必要と思われる。

参考文献

- 1) 土木学会鋼コンクリート合成構造小委員会（委員長 前田幸雄）：鋼コンクリート合成構造の現況、土木学会誌、1981.9
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、II. 鋼橋編、9. 合成げた、昭 55.2
- 3) 池田尚治・安田賛治・加島聰：鉄骨鉄筋コンクリート部材のせん断および定着に関する研究、土木学会第31回年次学術講演会講演概要集、No. 31-5、1976.10
- 4) 池田・上田・樋口・山口：形鋼鉄筋併用コンクリート構造の実験的研究、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1981
- 5) 池田・大町・森・山口：スタッドジベルによる鋼材とコンクリートとの応力の伝達について、同上論文集、1981
- 6) 金光・樋口・大町：大型鉄骨鉄筋コンクリート設計要領・同解説（案）、本四技報、No. 13、1980.7
- 7) 宮下・森・真辺：門崎高架橋脚工（SRC）の設計と施工、第24回国四地建内技術研究会発表論文集、1981.7
- 8) 土木学会コンクリート委員会：コンクリート構造の限界状態設計法試案（改訂版）、1983年12月ごろコンクリートライブラーとして出版予定
- 9) 国土開発技術研究センター：プレビーム合成げた橋設計施工指針、昭 50.3
- 10) 国土開発技術研究センター：S C くい設計指針、昭 55.3
- 11) 池田尚治：土木構造物の耐用年数—コンクリート構造の耐用年数、土木学会誌、1983.10

[付 錄]

鉄骨鉄筋コンクリート設計基準案（限界状態設計法試案〈改訂版〉の中の SRC に関するもの）

[WG 主査：池田尚治、委員：秋元泰輔、泉 満明、太田俊昭、太田 実、小林茂敏、多久和勇、樋口康三、山寺徳明]

15.1 総 則

本章は、鉄筋や P C 鋼材とともに、形鋼、鋼板または組立て鋼材を補強材として、コンクリート中に埋め込んで構成するコンクリート構造物または構造部材の設計に適用する。钢管または鋼角柱の中にコンクリートを充填する構造や、鋼部材がコンクリート中に埋め込まれておらず、接合面においてジベルを介して合成される構造は、この章の適用外とする。

15.2 鉄骨鉄筋コンクリートの具備すべき一般事項

部材またはコンクリートが鉄骨鉄筋コンクリートとして取り扱われるためには、次の事項が満足されることを条件とする。

- (1) 鉄骨はコンクリート中にあり、座屈の検討が不要である。
- (2) 鉄骨とコンクリートとは、ある程度の一体性が保たれている。
- (3) コンクリートと鉄骨との肌離れにより、コンクリートが剥落するようなことがない。
- (4) 鉄骨はコンクリートによって十分に保護されている。

15.3 一 般

15.3.1 鋼材の選定

鉄筋と鉄骨とは、降伏点がほぼ等しいものを組合せて用いることを原則とする。

15.3.2 架設時応力

作用荷重に対する検討に際しては、鉄骨は架設時に導入された応力を含めて検討するものとする。

15.3.3 設計計算の方法

断面および部材は、終局限界状態において所要の性能を有していないなければならない。また、使用限界状態において、作用荷重に対して所要の性能を有していないなければならない。このとき、鉄骨とコンクリートとが一体であるとみなして検討を行うものとする。

15.4 構造形式の分類

ここで扱う鉄骨鉄筋コンクリートは、次のいずれかの構造形式によるものとする。

- (1) 累加型構造
- (2) 鉄筋鉄骨併用構造
- (3) 架設主体構造

15.5 使用限界状態に対する検討

15.5.1 ひびわれの検討

(1) ひびわれに関する限界状態を検討する必要がある場合は、鉄骨部分をこれと同等な断面積をもつ鉄筋とみなして算出した鋼材の応力度を、表 15.5.1 の値以下とするのを標準とする。

表 15.5.1 鋼材の引張応力度の上限値

A_{ss}/A_s (%)	引張応力度の上限値 (kg/cm ²)
30	1 800
50	1 600
70	1 400

ここに、 A_{ss} ：引張側鉄骨の断面積

A_s ：引張側鋼材の断面積

(2) ひびわれが構造物の耐久性などにとくに有害な場合には、部材の置かれる条件に応じて適当な処置をするか、表 15.5.1 の値を低減しなければならない。

15.5.2 鉄骨とコンクリートの一体性の検討

鉄骨とコンクリートとの一体性は、使用状態において、両者の付着応力度が表 2.2.1 に示される値の 20% 以下とするこことによって確保するものとする。

15.5.3 疲労に対する検討

疲労に関する限界状態を検討する必要がある場合は、鉄骨部分をこれと同等の断面積をもつ鉄筋とみなして算出した鉄筋の応力度により、11 章の規定に準じて検討してよい。

15.6 終局限界状態に対する検討

15.6.1 曲げモーメントおよび軸力

(1) 累加型構造の断面耐力は、それぞれ独立に計算した鉄筋コンクリート部分の断面耐力と鉄骨部分の断面耐力の和として算定する。

(2) 鉄筋鉄骨併用構造の断面耐力は、鉄骨を鉄筋に換算して、6 章の規定に準じて算定する。

15.6.2 せん断

(1) 累加型構造のせん断耐力は、鉄骨部分のせん断耐力と鉄筋コンクリート部分のせん断耐力の和とする。

$$V_{sry} = V_{ry} + V_{sy} \quad (17.6.1)$$

ここで、 V_{sry} ：累加型構造の SRC 部材のせん断耐力

V_{ry} ：(7.5.1) 式で求めた鉄筋コンクリート部分のせん断耐力

V_{sy} ：鉄骨部分のせん断耐力

(2) 鉄筋鉄骨併用構造のせん断耐力は、鉄骨を鉄筋に換算して、7 章の規定に準じて算定する。

15.6.3 ねじり

(1) 累加型構造のねじり耐力は、鉄骨部分のねじり耐力と鉄筋コンクリート部分のねじり耐力の和とする。

(2) 鉄筋鉄骨併用構造のねじり耐力は、鉄骨を鉄筋に換算して、8 章の規定に準じて算定する。

15.7 架設時の検討および架設主体構造の検討

(1) 鉄骨については、コンクリートと合成する前の状態において、座屈の検討をしなければならない。

(2) 架設のためのみに用いる鉄骨については、(1) の検討のほかに、必要な剛度の照査および完成時における部材の破壊形式に与える影響の検討をしなければならない。

15.8 接合部の設計

(1) ラーメン隅角部は、はりの曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメントおよび軸力を柱に十分伝えることができる構造としなければならない。

(2) 柱脚部は、柱の断面力を確実に基礎に伝えることができる構造としなければならない。

15.9 構造細目

15.9.1 鋼材の最大量および最小量

(1) 軸方向鋼材量は、コンクリート断面積の8%以下とし、最小量は13.2.2に規定した鉄筋コンクリートに準ずるものとする。また、このうち軸方向鉄筋については13.2.2に規定された最小量の1/2以上を配置するものとする。

(2) セン断補強鋼材の最小量は13.3の規定に準ずるものとし、かつ、軸方向全鋼材を取り囲む形状で、スターラップまたは帯鉄筋を必ず配置しなければならない。また、スターラップおよび帯鉄筋は13.3に規定された最小量の1/2以上配置するものとする。

15.9.2 かぶり

(1) 鉄骨のかぶりは10cm以上としなければならない。

(2) 鉄筋のかぶりは13.6によるものとする。

15.9.3 鉄骨の連結および端部の処理

(1) 鉄骨の連結は耐力に余裕のある個所に設け、母材強度に対して少なくとも75%の強度をもつように設計しなければならない。また、継手部の強度を下げたことによって、その断面が限界断面とならないようにならなければならない。

(2) 片持ちはり自由端などにおける引張側および圧縮側鉄骨は、鉄骨により相互に結合するなど、その端部を十分に定着しなければならない。

15.9.4 鉄筋の継手および定着

(1) 鉄筋の継手位置は、鉄骨の連結部と同一断面に設けないものとする。

(2) 鉄筋の継手および定着に関しては、13.7および13.8による。

15.9.4 鉄筋および鉄骨のあき

(1) 鉄筋のあきに関しては13.2.3による。

(2) 鉄筋と鉄骨とのあきは4cm以上、最大粗骨材寸法の4/3倍以上としなければならない。

*

15. 鉄骨鉄筋コンクリート(解説)

15.1 総則(解説)

鉄骨鉄筋コンクリートとは、鉄筋とともに鉄骨をコンクリート中に配して、断面力に対する抵抗機能を形成する構造形式のことである。これと類似の形式のものとして、鋼管柱の中にコンクリートを充填する形式のものや鋼合せけた等、種々の形式のものがあるが、これらはそれぞれに固有の特徴をもっているので、ここでは鉄筋と鉄骨とがともにコンクリート中に埋め込まれている形式のものに限定することとした。

鉄骨鉄筋コンクリートは鉄筋コンクリートに比して、次のような特徴をもっている。

(1) 鉄骨のみを先行して架設することが可能である。

(2) 鉄骨同士は、コンクリートがなくとも相互に強固に結合されているので、構造体としての信頼感が高い。

(3) 一般に、鉄骨のみである程度の断面力に抵抗できるので、終局破壊時の安全性が期待できる。

(4) 鉄骨を先組みすることにより、鉄骨が足場や支保工の役割を果たすことができる。

(5) 断面中に多量の鋼材を配置して、断面の寸法を小さくできる。

(6) 鉄骨は鉄筋に比べ高価であるため、鉄筋コンクリートに比して、鉄骨鉄筋コンクリートは高価となることが多い。

(7) 大断面を設計する場合、鉄骨を用いることにより多段配筋を避けることができる。

(8) 鉄骨は鉄筋に比してコンクリートとの付着が良好でなく、剥離しやすい。一般に、鉄骨の水平下面の付着は全く期待できない。

(9) 鉄骨の割合が多い場合には、コンクリートのひびわれ幅が大きくなる傾向がある。

(10) 鉄骨鉄筋コンクリートの設計に際しては、鉄骨の設計、鉄筋の設計および両者の整合性に関する配慮等が必要なため、設計が繁雑である。

(11) 鋼材比が多い場合、コンクリートの打込みが困難である。

以上のように、鉄骨鉄筋コンクリートは多くの特徴をもっているので、対象とする構造物の設計条件によっては、鉄筋コンクリートや鋼構造よりも有利になることがあり得る。しかし、構造的性能を経済性と関連させて完全に評価することは極めて困難であるので、どのような場合に鉄骨鉄筋コンクリートがもっとも好ましい構造形式であるかを、一概に言うことはできない。また、鉄骨鉄筋コンクリートは、鉄骨と鉄筋の比率や鉄骨の形状等が一律には定まらないので、構造設計上の自由度が大きい。

本章は、土木構造物に鉄骨鉄筋コンクリートを用いる場合の設計の基本について、今まで行われてきた実施設計や実験結果、および今までに提案してきた設計基準を参考にして、新しい観点から検討を加え、条文を作成したものである。

15.2 鉄骨鉄筋コンクリートの具備すべき一般事項(解説)

鉄骨鉄筋コンクリートとしての構造的な機能を満足させるためには、鉄骨鉄筋コンクリートとして具備すべき条件を定めておくことが必要である。本条で定めた条件が満足されれば、通常の土木構造物としての機能を有するものと考えられ、また、これらを満足するように設計基準の細目を定めることが必要である。

(1) は鋼材の局部座屈や部材としての全体座屈の検討が不要となるように、コンクリート中に十分埋込まれている必要があること、(2) は使用状態において平面保持の仮定が満足されること、(3) は鉄骨の周囲に鉄筋を適当に配置すること、鉄骨の付着について考慮すること、(4) は耐久性等に関する事項、等について必要な事項を示したものである。
(以下略)