

【委員会報告】

鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案）について

ON PROPOSED DESIGN CODE OF STEEL-CONCRETE SANDWICH STRUCTURES

コンクリート委員会・鋼コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会

Research Subcommittee on Steel-Concrete Sandwich Structures, Concrete Committee

1. 序

最近になって様々の種類の鋼コンクリート合成構造が実際の構造物に適用されるようになってきた。その中の一つに鋼コンクリートサンドイッチ構造がある。鋼コンクリートサンドイッチ構造は、鋼構造とコンクリート構造との両方の特徴をうまく生かして、連続地中壁、沈埋函、カルバート等に適用されている。しかし、設計方法が確立されていないこと、コンクリート施工に難点があることが理由となつて、なかなか適用が進んでいないのも事実である。一方、最近、鋼コンクリートサンドイッチ構造に関する研究が活発に行われてきており、適切な設計方法を確立する素地ができてきたこと、また、締め固め不要のコンクリートが開発されて、コンクリート施工の難点が解消されたことなど、鋼コンクリートサンドイッチ構造がより普及するための条件がそろってきている。

このような背景のもとに、土木学会コンクリート委員会（小林一輔委員長当時）では、平成2年度に二重鋼殻構造研究会からの研究委託を受け、鋼コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会を設置し、その設計指針（案）の作成に関して、2年度にわたり検討を重ねてきた。この間に、大型供試体による載荷試験を行い、指針（案）中の耐力算定式などの妥当性を検証するとともに、沈埋函に適用した場合を想定した試設計を行い、鋼コンクリートサンドイッチ構造の有用性をも示した。これらの委員会活動の成果は、鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案）とともに、その付属資料として、コンクリートライブラリー73号（平成4年7月刊行）に収録されている。

本委員会報告は、この鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案）の概要を紹介するものである。

2. 鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案）

本指針（案）は、限界状態設計法に基づいており、次のような構成をなしている。

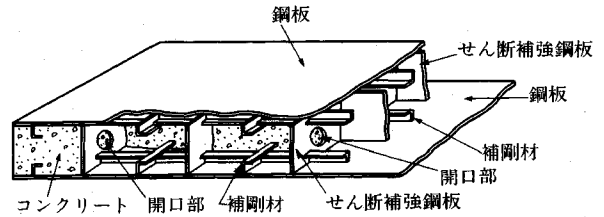


図-1 鋼コンクリートサンドイッチ構造

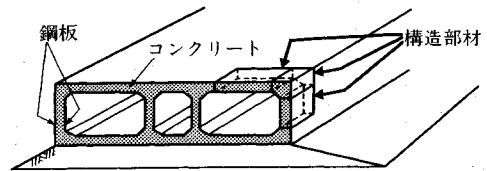


図-2 沈埋函に適用された鋼コンクリートサンドイッチ構造

- 1 章 総則
- 2 章 設計の基本
- 3 章 材料の設計用値
- 4 章 荷重
- 5 章 構造解析
- 6 章 限界状態に対する検討
- 7 章 構造細目

(1) 総 則

本指針で言う鋼コンクリートサンドイッチ構造を、図-1に示すように「鋼板とそれにはさまれたコンクリートとが一体となって挙動する合成構造である」と定義する。したがって、鋼板がコンクリートの片側にしかないオープンサンドイッチ構造は、指針の適用の範囲外となる。本指針では、主として、鋼コンクリートサンドイッチ構造が図-2に示すように沈埋函の構造部材に適用される場合を念頭において、設計の基本が示されているが、本指針の趣旨を尊重して十分な検討を行えば、他の構造物にも適用が可能である。

本指針に規定されていない事項は、土木学会のコンクリート標準示方書および鋼構造物設計指針によらなければならない。

表一 標準的な安全係数の値

	材料係数		部材係数		構造解析係数	荷重係数	構造物係数
	コンクリート	鋼材	曲げ	せん断			
施工時の鋼殻の終局限界状態	—	1.05	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
施工時の鋼殻の使用限界状態	—	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
施工時の合成構造の終局限界状態	1.3	1.05	1.15	1.15~1.3 ¹⁾	1.0	1.0~1.2 ²⁾	1.0
施工時の合成構造の使用限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
供用時の終局限界状態	1.3	1.05	1.15	1.15~1.3 ¹⁾	1.0	1.0~1.2 ²⁾	1.1
供用時の使用限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

1) 地震時の検討に際しては、ここに示した値の1.2倍とする。
 2) 永久荷重に対しては1.0~1.2、主たる変動荷重に対しては1.1~1.2、従たる変動荷重および偶発荷重に対しては1.0とする。

(2) 設計の基本

鋼板に囲まれた外から見えない空間にコンクリートが確実に充填されていることが、設計の前提となっているので、コンクリートの打設には細心の注意が必要である。一方、設計の基本として、コンクリートが鋼板に囲まれた空間に確実に充填されるように、構造細目にも適切な配慮が必要である。

限界状態の検討に用いる安全係数の標準的な値を表一1に示す。これらの値は、合成後の構造に対しては、コンクリート標準示方書を、合成前の鋼殻に対しては、鋼構造物設計指針を参考にして決められている。

(3) 材料の設計用値

材料の設計用値は、コンクリートの場合、コンクリート標準示方書により求めてよいが、鋼材の場合、鋼構造物設計指針には、本指針のように安全係数が規定されていないので、鋼構造物設計指針に規定されている、材料強度を材料係数で除した値を、材料の設計用値とする。

(4) 荷重

荷重の特性値は、コンクリート標準示方書による。なお、施工時で鋼殻とコンクリートとが一体となる以前の状態は、鋼殻にとっては荷重作用として最も厳しくなる場合がある。

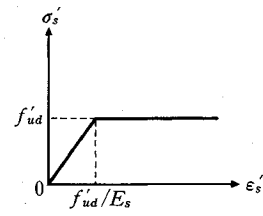
(5) 構造解析

構造解析は、通常のコンクリート構造物や鋼構造物と同様でよく、コンクリート標準示方書によってよい。

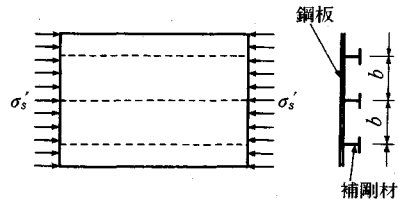
(6) 限界状態に対する検討

a) 施工時の安全性の検討

終局限界状態に対する検討は、軸方向力、曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメントに対して行わなければ



図一3 圧縮補強鋼板の応力-歪曲線



図一4 圧縮補強鋼板の補剛材の間隔

ばならない。鋼殻とコンクリートとが一体となる前の、鋼殻の終局限界状態に対する検討は、鋼構造物設計指針によって行い、一体となった後は、本指針の供用時の終局限界状態に対する検討にしたがって行う。なお、鋼構造物設計指針にしたがって検討を行う場合、同指針の安全係数の規定の仕方が異なるので、同指針に規定されている安全率を、本指針で規定している部材係数、構造解析係数、荷重係数および構造物係数をかけ合わせたものとみなす。

b) 施工時の使用限界状態に対する検討

使用限界状態に対する検討として変位、変形に対する検討を行う。鋼殻がコンクリートと一体となる前の検討は、鋼構造物設計指針により行い、一体となった後は、本指針の供用時の使用限界状態の検討にしたがって行う。鋼殻の過度の変形は、合成後のサンドイッチ構造の性能に問題を与える可能性がある。

c) 供用時の安全性の検討

① 曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の検討

曲げモーメントおよび軸方向力を受ける部材の終局限界状態の検討は、通常の鉄筋コンクリートの場合と同様に行うことができる。ただし、この場合の圧縮補強鋼板の応力-歪曲線は、鋼板の座屈を考慮した図一3に示すものとする必要がある。この図中の応力の上限值 f'_{ud} は次式で与えられる。

$$f'_{ud} = (t_f/b) (E_s f'_{ud})^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

f'_{ud} : 圧縮補強鋼板の局部座屈後の設計圧縮強度

t_f : 圧縮補強鋼板の厚さ

b : 圧縮補強鋼板の部材軸方向に配置された補剛材の間隔 (図一4 参照)

E_s : 圧縮補強鋼板のヤング係数

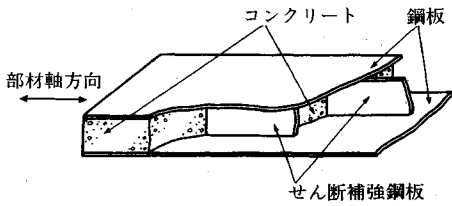


図-5 部材軸方向に配置されたせん断補強鋼板

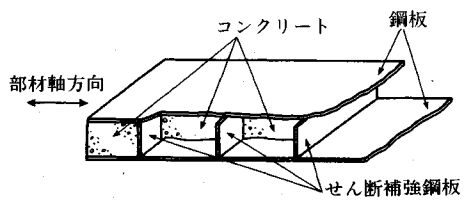


図-6 部材軸直角方向に配置されたせん断補強鋼板

f'_{yd} : 圧縮補強鋼板の設計圧縮降伏強度
 鋼板の補剛材は引張補強鋼板もしくは圧縮補強鋼板として考慮してもよく、圧縮補強鋼板の場合でも、補剛材の座屈は起こらないと考えてよい。部材軸方向に配置されたせん断補強鋼板も、引張補強鋼板および圧縮補強鋼板として考慮してよいが、この場合の降伏強度はせん断補強鋼板としての引張応力の影響を考慮し次式に示すように減少させる必要がある。

$$f_{cya} = f_{wyd}(1 - \sigma_w / f_{wyd}) \dots\dots\dots (2)$$

$$f'_{cya} = f'_{wyd}(1 - \sigma_w / f_{wyd}) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

f_{cya}, f'_{cya} : 引張および圧縮補強鋼板として用いた場合のせん断補強鋼板の引張および圧縮降伏強度

f_{wyd}, f'_{wyd} : せん断補強鋼板の引張および圧縮降伏強度で、4 000 kgf/cm²以下とする。

σ_w : せん断補強鋼板にせん断補強鋼板として作用する引張応力度 (≥0)

② せん断力に対する安全性の検討

樑部材としてのせん断耐力を次の4つの場合について考える。

- せん断補強鋼板のない場合
- 部材軸方向に配置されたせん断補強鋼板の場合
- 部材軸直角方向に配置されたせん断補強鋼板の場合
- 部材軸方向および直角方向に配置されたせん断補強鋼板の場合

せん断補強鋼板のない場合のせん断耐力は、通常の鉄筋コンクリート樑部材のせん断耐力と同様な方法で算定される。

$$V_{uod} = f_{cd} b_w d / \gamma_{b1} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

f_{cd} : せん断補強鋼板のない場合の設計せん断強度

b_w : 部材腹部の幅

d : 有効高さ

γ_{b1} : 部材係数 (=1.3)

設計せん断強度 f_{cd} は、通常の鉄筋コンクリートのスレンダーなはりもしくはディーブームのせん断強度推定式で求められる。シアコネクタによるせん断ひびわれ発生強度の減少を考慮しなければならない点、鉄筋コンクリートの場合と異なる点である。

せん断補強鋼板が部材軸方向にのみ配置されている場合 (図-5 参照) は、

$$V_{u1d} = k_m (V_{u1od} - V_{uod}) + V_{uod} \dots\dots\dots (5)$$

もしくは、

$$V_{u2d} = \sin^2 \alpha (\cot \theta + \cot \alpha) t_w z f_{wyd} / \gamma_{b2} + V_{od} \dots\dots\dots (6)$$

のうち小さい方で推定される。ここに、

$$V_{u1od} = f_{yd} b_w d / \gamma_{b1} \dots\dots\dots (7)$$

k_m : せん断補強鋼板の部材軸直角方向の間隔がせん断耐力に与える影響を考慮するための係数

$k_m = 1 / (b_w / d)^{1/2}$ ただし1.0以下とする。

f_{yd} : コンクリート部に形成されるトラス機構の圧縮斜材が破壊するときの設計せん断強度

α : せん断補強鋼板内に形成されるトラス機構の引張斜材が部材軸となす角度で、60°

θ : トラス機構の圧縮斜材が部材軸となす角度で、30° もしくは $\cot^{-1} (a/z)$ のうち大きい方

t_w : せん断補強鋼板の厚さ

z : トラス機構のアーム長

γ_{b2} : 部材係数 (=1.15)

V_{od} : 終局時にトラス機構以外が受け持つ設計せん断耐力

b_w : 部材腹部の幅で、せん断補強鋼板の間隔とする。

a : 支承前面より載荷点までの距離 (せん断スパン)

式 (5) は、圧縮斜材が破壊する場合のせん断耐力を与え、式 (6) は、引張斜材が降伏する場合のせん断耐力を与える。どちらの場合もトラス機構の崩壊を意味する。式 (5) で与えられる耐力は、せん断補強鋼板の間隔が大きくなると小さくなる。せん断強度 f_{yd} は過度にせん断補強された鉄筋コンクリート樑部材の圧縮斜材が破壊するときのせん断強度 (斜め圧縮破壊強度) に等しい。

部材軸直角方向にのみせん断補強鋼板が配置されている場合 (図-6 参照) のせん断耐力も同様に、

$$V_{u1d} = f_{yd} b_w d / \gamma_{b1} \dots\dots\dots (8)$$

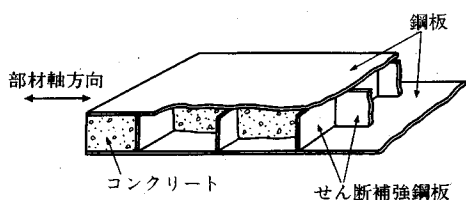
もしくは、

$$V_{u2d} = \sin \alpha (\cot \theta + \cot \alpha) A_w f_{wyd} (z/s) / \gamma_{b2} + V_{od} \dots\dots\dots (9)$$

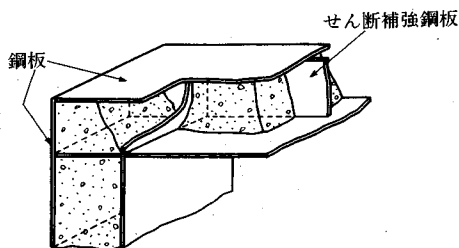
のうち小さい方として推定できるとしている。ここに、

A_w : せん断補強鋼板の断面積 (= $t_w b_w$)

θ : トラス機構の圧縮斜材が部材軸となす角度で、 $\cot^{-1} ((s-z) \cot \alpha) / z$ もしくは $\cot^{-1} (a/z)$ のうち大きい方



図一七 部材軸方向および部材軸直角方向に配置されたせん断補強鋼板



図一八 隅角部

s: せん断補強鋼板の間隔

この場合のせん断強度 f_{ud} は、 $a/d = \cot\theta$ である通常の鉄筋コンクリート棒部材のそれと等しい。すなわち、隣合うせん断補強鋼板の間の部分をせん断補強鋼板のないサンドイッチ構造部材と仮定しているのである。

せん断補強鋼板が部材軸方向および部材軸直角方向両方に配置されている場合（図一七参照）は、部材軸方向に配置されているせん断補強鋼板のみを考慮して算定されるせん断耐力と、部材軸直角方向に配置されているせん断補強鋼板のみを考慮して算定されるせん断耐力とのうち大きい方を耐力としてよい。

③ ねじりに対する安全性の検討

サンドイッチ構造部材のねじりに対する既往の研究成果がないので、ねじり耐力を、鋼殻のねじり耐力もしくはコンクリート部のねじり耐力のうち大きい方として安全側に推定してよい。

d) 供用時の使用限界状態に対する検討

変位、変形に対する検討をコンクリート標準示方書にしたがって行うが、シアコネクタによるひびわれ発生モーメントの減少を考慮する必要がある。

(7) 構造細目

a) 鋼板

コンクリートに直接接する箇所を除いて、鋼板には十分な腐食対策を施す必要がある。

b) せん断補強鋼板

せん断補強鋼板はその両端で、引張および圧縮補強鋼板に定着されていなければならない。

c) 隅角部

隅角部に接合する部材の引張、圧縮およびせん断補強鋼板は隅角部内に延長し、接合する他の部材のそれぞれ

の鋼板に全強度が伝達できるように接合されていなければならない（図一八参照）

d) シアコネクタ

鋼板とコンクリートとの一体性を保つために、鋼板にシアコネクタを適当な間隔で配置しなければならない。次式により配置を定めてよい。

$$\gamma_i H_d / \sum_{i=1}^{n_{sc}} V_{scdi} \leq 1.0 \dots \dots \dots (10)$$

ここに、

H_d : 区間 L における鋼板とコンクリートとの間で単位幅当りに作用する設計せん断力 ($=t_f \sigma_f$)

γ_i : 構造物係数

V_{scdi} : 単位幅当りの個々のシアコネクタの設計せん断伝達耐力

n_{sc} : 区間 L におけるシアコネクタの総数

t_f : 最大曲げモーメント作用断面の鋼板の厚さ

σ_f : 最大曲げモーメント作用断面における鋼板に生じる引張応力度 ($=f_{ud} M_a / M_{ud}$)

L : 最大曲げモーメント作用断面と曲げモーメントが0となる断面との間の区間

f_{ud} : 引張補強鋼板の設計引張降伏強度

M_a : 最大曲げモーメント作用断面の設計曲げモーメント

M_{ud} : 最大曲げモーメント作用断面の設計曲げ耐力
形鋼をシアコネクタに用いた場合の設計せん断伝達耐力は次式により求めてよい。

$$V_{scd} = 17.85 h_{sc} w_{sc} f'_{cd}{}^{1/2} k_1 k_2 k_3 / \gamma_{b1} \dots \dots \dots (11)$$

ただし、 $t_{sc0} w_{sc} f_{scyd} / \sqrt{3} / \gamma_{b2}$ 以下とする。ここに、

$$k_1 = 2.2 (t_{sc} / h_{sc})^{2/3} \text{ ただし } 1.0 \text{ 以下とする。}$$

$$k_2 = 0.4 (t_f / t_{sc})^{1/2} + 0.43 \text{ ただし } 1.0 \text{ 以下とする。}$$

$$k_3 = (s_{sc} / h_{sc} / 10)^{1/2} \text{ ただし } 1.0 \text{ 以下とする。}$$

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (kgf/cm²)

h_{sc} : シアコネクタの高さ

w_{sc} : 作用せん断力と直角方向のシアコネクタの幅

t_{sc0} : シアコネクタの溶接部を考慮した厚さもしくは母材の厚さのうち小さい方

f_{scyd} : シアコネクタの設計引張降伏強度

t_{sc} : シアコネクタの厚さ

s_{sc} : 作用せん断力方向のシアコネクタの間隔

γ_{b1} : 部材係数 (=1.3)

γ_{b2} : 部材係数 (=1.15)

γ_c : f'_{cd} を計算する際の材料係数 (=1.3)

γ_s : f_{scyd} を計算する際の材料係数 (=1.05)

部材軸直角方向のせん断補強鋼板をシアコネクタとしても用いる場合の設計せん断伝達耐力は、

$$V_{scd} = t_{sc0} w_{sc} f_{esd} / \gamma_{b2} \dots \dots \dots (12)$$

ここに、

$$f_{esd} = (f_{wyd}/\sqrt{3})(1 - \sigma_w/f_{wyd}) \dots\dots\dots(13)$$

式(12)はせん断補強鋼板として作用する引張応力によるせん断降伏強度の減少を示している。

e) 鋼板の最小板厚

一般には鋼板の最小板厚を8mmとしてよい。

f) 鋼板の最小間隔

鋼板の最小間隔は、鋼板に囲まれた空間にコンクリートが確実に充填されるように定める。

g) 鋼板の開口部

施工上の理由から設ける鋼板の開口部は必要最小限とし、適切に開口部周辺を補強する必要がある。

3. おわりに

鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)の刊行にともない、平成4年7月に東京で講習会を開催し、本委員会の活動をすべて終了する。本指針(案)は限界状態設計法を適用した合成構造の最初の設計指針である。本指針(案)が、鋼コンクリートサンドイッチ構造のみ

ならず、複合構造全般の益々の普及の一助となることを期待する。

鋼コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会委員

委員長 岡村 甫 副委員長 角田與史雄

委員 秋元泰輔 ○天野玲子 池田尚治

出光 隆 今井義明 ○上田多門

○植村俊郎 岡本寛昭 河野広隆

清宮 理 ○熊谷洋司 ○小島一雄

○塩屋俊幸 ○島 弘 ○清水功雄

関 博 ○園田恵一郎 田辺忠顕

田村富雄 ○中島健治 藤井 学

○増井直樹 町田篤彦 松井繁之

松本 進 三浦 尚 南 宏一

○睦好宏史 横田 弘 吉川 紀

涌井 一 (○:作業部会メンバー)

(1992.7.3 受付)