

合成スラブに関する 構造計算適合性判定時の留意事項

合成スラブ工業会では、これまでに鉄骨造建築物に合成スラブを使用した場合の比較的多い質疑事例を収集しました。それらの対応事例について資料を作成しましたので、設計の参考にして頂ければ幸いです。

なお、本資料における指摘事項例は、(財)日本建築センター・構造判定部の協力を受けて作成したものです。本資料は一般的な建築物を想定しておりますので、場合によっては検討が不十分、または異なる見解となる場合もあり得ますことをご了承願います。

合成スラブ工業会

審査重点項目 (BCJ)

- 1) 工学的な判断を伴うモデル化の妥当性
- 2) 構造計算に適用する解析法、
算定式の妥当性、
適用範囲の妥当性
- 3) 演算の適正さ(演算結果の信頼性)

合成スラブ工業会

合成スラブに関する具体的指摘事項例

下記項目に関する未検討、未記載、不整合、不明確等により
指摘事項が多くなり、結果として審査期間が伸びる要因



事前に検討し、構造計算書・構造図などに明記することにより
構造計算適合性判定の審査期間の短縮

- 1) 合成スラブの適用範囲が守られているか
- 2) 梁と合成スラブの接合部について
- 3) 合成梁について
- 4) 梁の剛性増大率について

合成スラブ工業会

1) 合成スラブの適用範囲が守られているか

- 図面への記載が適切におこなわれているか
→ 標準図の添付や部材配置の確認
- デッキ方向が図面に記載されているか。
- 使用材料および材料強度が適用範囲内か
- 積載荷重(.v.s.スパン)が適用範囲内か (最大積載荷重の制限有)
- 仕様は連続支持合成スラブか、単純支持合成スラブか
- 耐火認定の場合、部材組合せが適用範囲内か
→ コンクリート種類・厚さ、スパン、積載荷重、ひび割れ防止筋等
- 使用上の支障が起らないことを確認しているか (建築主事の指摘例)
- 開口がある場合、開口補強要領は図示されているか

合成スラブ工業会

1)-1 合成スラブの適用範囲 記載例

- 合成スラブ標準図を添付し、
適用材料、表面仕上げ、スラブ厚等該当箇所に記入
合成スラブ工業会にリンクする工業会各社のHPに標準図をご用意している。
- 床伏図作成し、床符号、デッキ方向表示

- 合成スラブ床の検討—
本件に用いた床スラブ一覧は図面***に示す。
全て耐火床2時間認定を適用するため、
支持スパンが最大のS*1、
積載荷重が最大のS*2について検討を加える。
合成スラブ ○○製 ○○75-1.2@90
2連続支持 耐火認定番号FP060FL-9****

合成スラブ工業会

1)-2 合成スラブの適用範囲 記載例

- ①S*1 用途:事務所
合成スラブ用デッキプレート ○○75-1.2 (溝広) SDP1T(F = 205N/mm²)
普通コンクリート N = 21 N/mm²、山上スラブ厚90mm
スパンℓ = 3,000 mm
荷重 積載荷重 2,900 N/m²
床仕上、天井等 900 N/m²
耐火認定許容積載荷重 = 5,400 × (3.4 / ℓ)² = 6,900 > (2,900 + 900) N/m² OK
耐火認定適用スラブ厚 90mm以上 ≤ 90 OK

工業会各社の合成スラブの耐火認定は許容積載荷重、適用スパン他全て同じであり、上記検討範囲内では、詳細な断面算定は自動的に満足されます。
詳細な断面算定計算書は各社HPの構造計算ソフトによっても自動計算、出力が可能。

合成スラブ工業会

1)-3 合成スラブの適用範囲 記載例

- ②S*2 用途:機器保管庫
合成スラブ用デッキプレート ○○75-1.2 (溝広) SDP1T(F = 205N/mm²)
普通コンクリート N = 21 N/mm²、山上スラブ厚90mm
スパンℓ = 2,670 → 2,700 mm
荷重 積載荷重 6,000 N/m²
床仕上、天井等 900 N/m²
耐火認定許容積載荷重 = 5,400 × (3.4 / ℓ)² = 8,560 > (6,000 + 900) N/m² OK
耐火認定適用スラブ厚 90mm以上 ≤ 90 OK

工業会各社の合成スラブの耐火認定は許容積載荷重、適用スパン他全て同じであり、上記検討範囲内では、詳細な断面算定は自動的に満足されます。
詳細な断面算定計算書は各社HPの構造計算ソフトによっても自動計算、出力が可能。

合成スラブ工業会

1)-4 合成スラブの適用範囲 その他の項目記載例

使用上の支障の検討(たわみの検討:変形増大係数1.5)

$$S^*1 \quad \delta = \kappa \frac{5w_{LL}\ell^4}{384sE \cdot cI_n/n} = \frac{1.5 \times 5 \times 3,800 \times 3.0^4 \times 10^9}{384 \times 2.05 \times 10^5 \times 21,260 / 15 \times 10^4} = 2.07$$

$$\leq \ell / 250 = 12 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$S^*2 \quad \delta = \kappa \frac{5w_{LL}\ell^4}{384sE \cdot cI_n/n} = \frac{1.5 \times 5 \times 6,900 \times 3.0^4 \times 10^9}{384 \times 2.05 \times 10^5 \times 21,260 / 15 \times 10^4} = 2.46$$

$$\leq \ell / 250 = 10.8 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

開口部の補強 各社標準図、マニュアル*172頁に例記載

ひび割れ防止割増配筋 各社標準図、マニュアル*1121頁に例記載

*1 「合成スラブの設計・施工マニュアル」 合成スラブ工業会

合成スラブ工業会

2) -1 梁と合成スラブの接合部について

指摘事項例

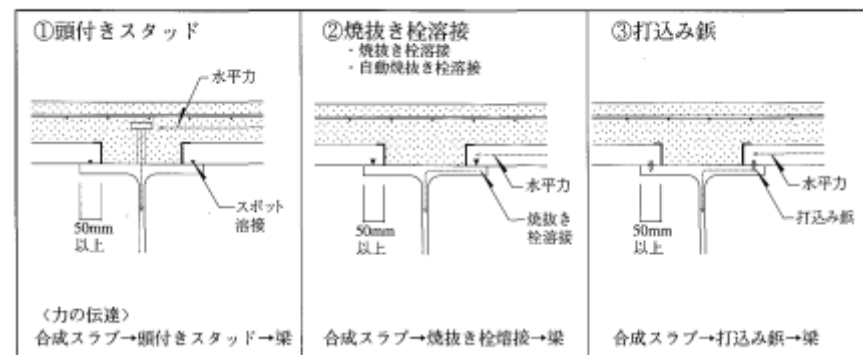
- 焼抜き栓溶接を用いた場合に、溶接ピッチが記載されているか
(記載漏れが多くみられる)
- スタッドボルトを用いた場合に、極端に径が細い(13φ以下)あるいはピッチが荒く(@600以上など)ないか。
- 吹き抜けやブレースの偏在などにより、床面内に移行せん断力が発生する場合、面内せん断力の伝達について検討されているか。
- デッキ床と梁との接合に用いる工法が記載されているか。
(スタッドボルトまたは焼抜き栓溶接)
- 「スタッドボルトはS造梁を合成梁としないため計算を省略する。」とありますが、デッキスラブにより水平力が伝達され、剛床仮定が成立するためには、スラブと梁との接合部の検討が必要ではありませんか。

合成スラブ工業会

2)-1 梁と合成スラブの接合部について

梁と合成スラブの接合にあたり、設計者の考え方を明確にする。

1) 合成スラブと梁の接合方法



合成スラブ工業会

2)-2 梁と合成スラブの接合部について

水平せん断力の求め方

(架構自重、壁荷重等はスラブを介してのせん断力から除外してよい)

① 剛床仮定解法による場合

剛床仮定でのラーメン解法は基本的に一層一水平変位を基本としており、具体的には、ラーメン間を断面積大の仮想部材で連結したり、層荷重をラーメン水平剛性比で配分したり種々の方法が用いられているが、ラーメン間の伝達水平せん断力の形では出力されない。床スラブを介しての伝達水平せん断力は、下記の方法で算出できる。

$$\begin{aligned} & \text{大梁両側スラブ伝達水平せん断力} \\ & = (\sum \text{下階柱せん断力} - \sum \text{上階柱せん断力}) \times \frac{\text{床荷重}}{\text{当階総重量}} \end{aligned}$$

合成スラブ工業会

2) -3 梁と合成スラブの接合部について

② ブレース置換

床を大断面のブレースで置換し、ブレース軸力の水平分力から求める

$$\begin{aligned} & \text{大梁片側スラブ伝達水平せん断力} \\ & = \text{置換ブレース軸力の水平分力} \times \frac{\text{床荷重}}{\text{当階総重量}} \end{aligned}$$

③ ラーメン水平剛性比で配分

$$\begin{aligned} & \text{大梁両側スラブ伝達水平せん断力} \\ & = (\text{下階層せん断力} - \text{上階層せん断力}) \times \frac{\text{該当ラーメン水平剛性}}{\sum \text{当階ラーメン水平剛性}} \times \frac{\text{床荷重}}{\text{当階総重量}} \\ & \text{ほぼ同一ラーメンで構成されている場合は} \\ & = (\text{下階層せん断力} - \text{上階層せん断力}) / \text{構面数} \times \frac{\text{床荷重}}{\text{当階総重量}} \end{aligned}$$

極端な不整形な構面配置でなければ、屋上階の外端大梁への水平せん断力が最も大きな値となると考えられる。

合成スラブ工業会

2) -4 梁と合成スラブの接合部について 算定例 1

合成スラブと梁との接合の検討(焼抜き栓溶接の場合の例)

デッキプレートと梁とは焼抜き栓溶接で接合する。
 (合成スラブ工業会仕様 短期許容せん断力75mm-1.2mm@90 7.35 kN/個)
 デッキプレート直交方向:
 接合部溝2箇所、中央部溝1箇所 計3箇所/600mm(@200mm)
 デッキプレート平行方向:@450mm
 合成スラブの水平せん断力の検討
 各構面せん断力は水平剛性の比で配分の方法によって水平せん断力を求める。

合成スラブ工業会

2) -5 梁と合成スラブの接合部について 算定例 1

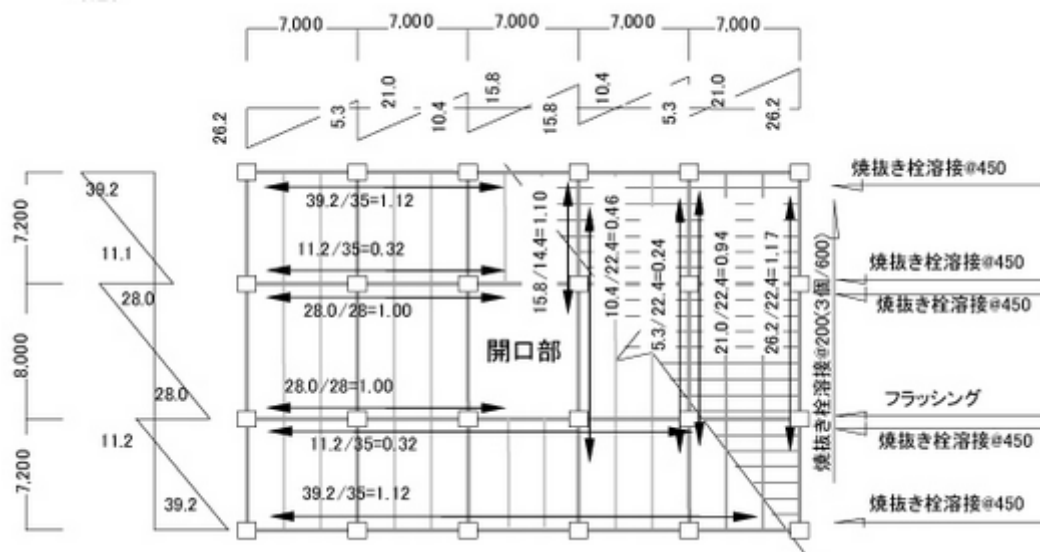
最上階層せん断力 2,509 kN
 最上階総重量=6,272 kN
 最上階地震時床重量=3,920 kN
 スラブ伝達水平剪断力 $Q=2,509 \times 3,920/6,272 = 1,568$ kN
 X方向1構面当たり反力 $R_x=1,568/4= 392$ kN
 Y方向1構面当たり反力 $R_y=1,568/6= 262$ kN
 最も大きな水平せん断力となる、外端構面について検討を加える。

$$X \text{ 方向 } \frac{35.0}{0.45} \times 7.35 = 571 > 392 \text{ kN OK}$$

$$Y \text{ 方向 } \frac{22.4}{0.20} \times 7.35 = 823 > 262 \text{ kN OK}$$

合成スラブ工業会

2) -6 梁と合成スラブの接合部について 算定例 1



合成スラブ工業会

2) -7 梁と合成スラブの接合部について 算定例2

合成スラブと梁との接合の検討(スタッドボルトを用いた場合)

例1 スタッドボルトを用いて水平せん断力を伝達する場合、スタッドボルトの許容せん断耐力を定めた規準は見当たらない。

日本建築学会「各種合成構造設計施工指針 第I編 合成ばり構造設計指針」は頭付きスタッドの許容応力には触れなくて、終局耐力のみを規定している。同指針は合成ばりのスラブと鉄骨梁を接合するに要する頭付きスタッドの本数を、終局耐力のバランスから算出することになっている。

この考え方を受けて、スタッドボルトでデッキプレートを用いたスラブと鉄骨梁を接合して水平せん断力を伝達する場合の検討は「デッキプレート床構造設計・施工規準-2004 130頁～」に見られる。ここでは

- ① スタッドのせん断耐力は終局耐力を採り
- ② スラブのコンクリートの終局せん断耐力を $F_s=F_c/10$ とみなし
- ③ スラブ内終局せん断力/スタッド終局耐力でスタッド本数を定め
- ④ 必要保有面内せん断力に対し検討を加えている。

合成スラブ工業会

2)-8 梁と合成スラブの接合部について 記載例

例2 スタッドボルトの短期許容せん断耐力を日本建築学会「各種合成構造設計指針 第I編 合成はり構造設計指針」の頭付きスタッドの終局耐力の 0.6、0.5 として水平せん断力に対して検討を加えている設計例もあるが、その妥当性については確認できていない。

極端に頭付きスタッドの量を減らした場合に、鉄骨大梁とのずれにより、頭付きスタッドが早期に降伏する恐れがあることに留意する。

合成スラブ工業会

3)-1 合成梁について

- ・S造小梁は完全合成梁として計算していますが、完全合成梁が成立する条件として、スラブの有効幅Bおよびスタッド本数、ピッチ等の検討が必要ではないですか。
- ・一例として完全合成梁として設計している内容を、もう少し詳細に説明して下さい。I、Z、スタッドボルト本数の決定など。構造図にはスタッドボルト本数が表示されていませんが、確認して下さい。

上記例はいずれも、合成梁としての設計ではなく、水平せん断力の伝達にスタッドボルトを用いた場合に、「完全合成梁、不完全合成梁として設計する」と記述したことによる指摘。

この構法によって耐力を算定していない場合に、不用意にこの用語を用いるのは、誤解を招く。

合成スラブ工業会

3)-2 合成梁について 合成梁の設計

「各種合成構造設計指針同解説(建築学会)第I編」

スラブコンクリートと鉄骨梁をスタッドジベルにより一体化し、剛性、耐力の評価にコンクリートの効果を算入するもの。

完全合成梁: スタッドボルトは鉄骨とスラブが全塑性変形するのに必要な本数

不完全合成梁: 鉛直荷重による曲げ崩壊の可能性がない場合は完全合成梁に要求されるスタッド本数の1/2以上

ちなみに、スパン $l=8.00\text{m}$ 、H-400×200×8×13梁 ($a=8340\text{ mm}^2$)、 19ϕ 1列スタッドボルト(等厚普通コンクリートFc21 $q=95.1\text{ kN}$)
不完全合成梁に要求されるスタッド本数 n は
 $n \leq 0.5 \times 235 \times 8340 / 95.1 \times 103 = 10.3$ 本となり
ピッチ $@$ は $8000 / (2 \times 10.3) = 388\text{ mm}$ となります。

合成スラブ工業会

4)-1 梁の剛性増大率について 指摘事項例

- ・大梁の剛性増大率に3.0など通常より大きな値がありますが、算定根拠を示す検討書が見当たりません。検討箇所を示してください。
- ・鉄骨造梁はデッキ床取り付け部分についてスラブによる剛性増大が考慮されていますが、梁とスラブ接合部スタッド等の検討はどこにありますか。検討箇所を示すか、未検討の場合は追加検討書を提出してください。この指摘例は、スラブによる剛性増大を考慮しているにもかかわらず、スタッドの径やピッチが明らかに少ない場合)
- ・スラブ付きの梁の剛度増大率を自動計算としていますが、どのように計算されているのか具体的に説明して下さい。構造図ではデッキ床と梁との接合は焼抜き栓溶接です。この場合、剛度増大率は1.0としなくてよいですか(参考:合成スラブ工業会のホームページQ&Aなど)

合成スラブ工業会

4) -2 梁の剛性増大率について 指摘事項例

- P.xxxで、2通りA-D軸間の梁は、基準となるスパンとの長さの違いから剛性低減を0.83として、一貫計算書の出力P.zzzでは剛性倍率が0.83となっています。当該梁は両側スラブ付梁ですのでスラブの合成効果を考慮した場合、剛性倍率は過小評価となりませんか？(剛性倍率は1.0以上になるのでは)
- 2階梁の曲げ剛性に、スラブの剛性効果を見落としています。スラブと梁は頭付きスタッドで緊結されています。スラブを見落すことが安全側の仮定ですか？剛性率、偏心率に影響しませんか？
(一部に吹抜がある場合などでは、全ての梁のスラブ合成効果を一律に見落して剛性増大率=1.0として計算すると、剛性率・偏心率が適切に評価されない可能性があります。接合部に頭付きスタッドを用いた場合、原則として合成効果を考慮する必要がありませんか？)

合成スラブ工業会

4) -4 梁の剛性増大率について 頭付スタッドの場合

CASE 1

- スラブの有効幅は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-1999」8条1項3を参照にして求め、正曲げ・負曲げともコンクリートは全断面有効として断面二次モーメントを算出し、鉄骨梁断面二次モーメントで除して剛性増大率を求める。
- 長期、短期応力は梁剛性を鉄骨梁剛性×剛性増大率として応力を算出する。

注:スラブ有効幅は、梁スパン・梁フランジ幅・隣接梁間隔によって異なり、全ての梁についてこの手法で求めるのはかなり煩雑となる。

合成スラブ工業会

4) -4 梁の剛性増大率について 頭付スタッドの場合

CASE 3

- 正曲げ時は、梁両側にスラブがある場合の剛性増大率を2.00、片側にスラブがある場合の剛性増大率を1.50両側にスラブがない場合の剛性増大率を1.00とする。
負曲げ時は鉄骨断面のみ剛性とし剛性増大率を1.00とする
- 長期、短期応力の算出にあたっては、正曲げ・負曲げの反曲点を求め異なった剛性を設定するのは実務上無理なので、正曲げ時、負曲げ時の平均剛性を採用し、梁両側にスラブがある場合は
剛性増大率を $(2.00 + 1.00) / 2 = 1.50$ 、
片側にスラブがある場合は剛性増大率を $(1.50 + 1.00) / 2 = 1.25$ 、
両側にスラブがない場合は剛性増大率を1.00とし、
梁剛性を鉄骨梁剛性×剛性増大率として応力を

合成スラブ工業会

4) -5 梁の剛性増大率について その他

- 一部位のみ、根拠なく剛性増大率を変更するは避けるべきです。剛性率、偏心率の処理のための恣意的な変更と思われる場合もあるようです。
- 一部の一貫プログラムでは、スラブ剛性増大率は、一律に全ての梁に波及し、両側スラブ吹き抜けの梁にあっても1.0以上の剛性増大率が適用されてしまう例もあるようです。プログラムの特徴を確認して、対処する。(屋根が折版などの場合、スラブ厚を入力しないとデフォルトで0以外のスラブ厚を考慮するプログラムもある)
- デッキプレートに合成スラブを用い、鉄骨梁との接合に焼抜き栓溶接とする場合、焼抜き栓溶接によって梁剛性が増加する効果も見られますが、スタッドボルトと異なり、この効果を断面の塑性域まで保証する構造方法ではないため、応力算出にあたっては剛性増大率を1.00とする。
ただし柱・梁の応力検定比が極めて1.00に近い場合は、設計者の考え方を質されることもあるようなので、若干の余裕を持たせたほうがよい。
- スタッドボルトを用いた場合でも、CASE 2、CASE 3での算出には不確定な要素もありますので、柱・梁の応力検定比が極めて1.00に近い場合は、設計者の考え方を質されることもあるようなので、若干の余裕を持たせたほうがよい。

合成スラブ工業会

4) -6 梁の剛性増大率について BCJでの取扱い

<焼抜き栓溶接の取り扱い>

- ・スラブによる剛性増大を考慮していない場合で主要構造部に余裕のある場合は質疑しない。剛性増大率を考慮している場合は、剛性増大率について設計者の考え方を問う形式で質疑する。

<頭付きスタッドの取り扱い>

- ・スラブによる剛性増大を考慮している場合は質疑しない。
また、その剛性増大率の値が明らかにおかしい、または矛盾している場合以外は質疑しない。
- ・頭付きスタッドの計算は、剛性増大を考慮しているのに径やピッチが明らかに少ない場合や、合成効果を耐力に評価している場合以外は求めない。