

(22) 合成効果を考慮した柱梁接合部パネルの弾塑性挙動

吉敷 祥一¹・薩川 恵一²・山田 哲³

¹正会員 東京工業大学 助教 建築物理研究センター (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)
E-mail : kishiki@serc.titech.ac.jp

²正会員 愛知産業大学 准教授 造形学部建築学科 (〒444-0005 愛知県岡崎市岡町原山12-5)
E-mail : k-satsu@asu.ac.jp

³正会員 東京工業大学 准教授 建築物理研究センター (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)
E-mail : yamada.s.ad@m.titech.ac.jp

鋼構造骨組において、梁はシアコネクタを介して床スラブと緊結した合成梁とすることが多い。床スラブと梁を緊結することによる合成効果は梁だけでなく、柱梁接合部パネルにおいても現れ、既往の研究においても剛性・耐力の上昇が確認されている。柱梁接合部パネルは十分な塑性変形能力を有し、エネルギー吸収を期待できるが、床スラブの存在による剛性・耐力の上昇については不明確な部分が多く、設計上は考慮されていない。本論文では床スラブ付き十字形部分架構の繰り返し載荷実験を行い、床スラブの存在が柱梁接合部パネルの弾塑性挙動に及ぼす影響を把握した。また、接合部周辺における鉄骨梁-床スラブ間の応力伝達を詳細に考察し、床スラブを含めた柱梁接合部パネルの耐荷機構を示した。

Key Words : panel zone, concrete slab, composite effects, stud connector

1. はじめに

鋼構造骨組において、主に剛性確保を目的として梁を頭付きスタッドを介して床スラブと緊結した合成梁とすることが多い。梁と床スラブを緊結することによる合成効果は梁だけでなく、柱梁接合部パネル(以後、接合部パネル)にも現れ、既往の実験においても剛性・耐力の上昇が確認されている^{1)~4)}など。接合部パネルは十分な塑性変形能力を有し、地震時に安定したエネルギー吸収を期待できる部材である。しかし、床スラブの存在による剛性・耐力の上昇については不明確な部分が多く、現状の設計にこれらの効果は反映されていない^{例えば5)}など。本研究では床スラブ付き十字形部分架構の繰り返し載荷実験と非線形解析を行い、床スラブの存在が接合部パネルの弾塑性挙動に及ぼす影響を把握する。

2. 床スラブ付き十字形部分架構の載荷実験

(1) 実験計画

本論文ではまず、接合部パネルの力学挙動に及ぼす床

スラブの影響を把握するため、床スラブ付き部分骨組の繰り返し載荷実験を行った。実験のセットアップを図-1に示す。試験体は柱梁からなる縮尺約1/2スケールの十字形部分骨組であり、梁上にはスタッドコネクタによって緊結した床スラブを有する。柱頭はPC鋼棒によって固定した鉛直自由のピンローラー支持、柱脚はクレビス式のピン治具に固定したピン支持とし、左右の梁自由端

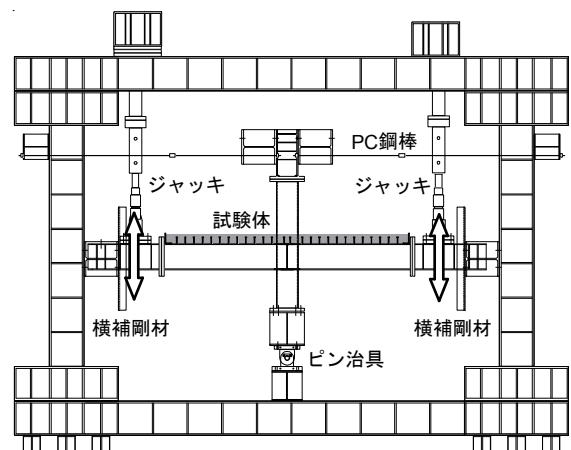


図-1 セットアップ

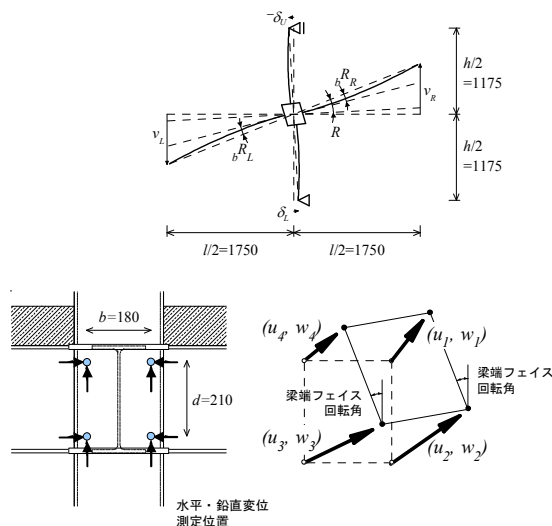
はオイルジャッキを接続した載荷点である。試験体は曲げモーメントがゼロとなる柱梁の反曲点位置をスパン中央、階高中央に仮定した建物の一部分を切り出したものであり、スパンは3.5 m、階高は2.35 mである。

実験は、試験体の降伏機構、床スラブの仕様によって、FシリーズとDシリーズに大別される。試験体の概要を図-2に示す。試験体の柱に250角の冷間成形角形鋼管(BCR295)を、梁に圧延H形鋼H-300x150x6.5x9を用いている点が全試験体で共通である。Fシリーズでは、接合部パネルが柱梁に先行して降伏するように柱の板厚を9mm、梁の材質をSM490A材とした。床スラブは厚さ100mmの等厚スラブであり、試験体全面に設置したF_FULL、柱梁接合部周辺の局所的な影響を観察するために小さな床スラブを設置したF_MINIの計2体を用意した。Dシリーズでは、梁が接合部パネルに先行して降伏するように柱の板厚を12mm、梁の材質をSN400B材とした。床スラブはデッキプレート(山上までの高さ50mm)を用い、デッキプレートをスラブの長手方向に敷き詰めたD_LS、短手方向に敷き詰めたD_SSの計2体を用意した。スタッドコネクタについては、Fシリーズではφ13×80の頭付きスタッドを2列100mmピッチ、Dシリーズではφ19×80の頭付きスタッドを1列150mmピッチで溶接した。試験体を使用した鋼材のJIS-1A号引張試験片による素材試験の結果と、床スラブに使用したコンクリートの材料試験の結果を表-1にまとめて示す。

実験は、オイルジャッキによって左右の梁自由端に逆対称の強制変形を与えることで行った。載荷は層間変形角 R による変位制御にて行い、目標変形を $\pm 1/200$ 、 $\pm 1/100$ 、 $\pm 1/50$ 、 $\pm 1/33$ 、 $+ 1/25$ を1サイクルずつ繰り返す正負交番漸増載荷とした。制御に用いた層間変形角 R は図-4に示すように柱頭・柱脚、梁自由端、接合部周辺に配した変位計の計測値から算出した。その他、これらの計測値から接合部パネルの見かけのせん断力 Q 、梁の部材角 μR 、接合部パネルのせん断変形角 γ を算出できるように計測位置を計画した。

表-1 材料試験結果

シリーズ	使用部位	材種	降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	降伏比 %	破断伸び %
F	柱・パネル	BCR295	409	470	87	24
	梁フランジ	SM490A	438	566	77	24
	梁ウェブ		477	580	82	18
D	柱・パネル	BCR295	387	449	86	26
	梁フランジ	SN400B	299	425	70	34
	梁ウェブ		331	448	74	24
共通	床スラブ	コンクリート (4 週)	-	25.0(圧縮) 1.96(引張)	-	-



層間変形角

$$R = \frac{v_R - v_L}{l} - \frac{\delta_R - \delta_L}{h}$$

接合部パネルの見かけのせん断力

$$Q = (P_R - P_L) \cdot \frac{l - D_c}{2} - H = (P_R - P_L) \cdot \left(\frac{l - D_c}{2d_b} - \frac{l}{2h} \right)$$

梁の部材角

$$\mu R_R = \frac{2v_R}{l - D_c} - \frac{u_2 - u_1}{d}, \quad \mu R_L = \frac{2v_L}{l - D_c} - \frac{u_4 - u_3}{d}$$

接合部パネルのせん断変形角

$$\gamma = \frac{-u_1 + u_2 + u_3 - u_4}{2d} - \frac{w_1 + w_2 - w_3 - w_4}{2b}$$

図-3 計測計画

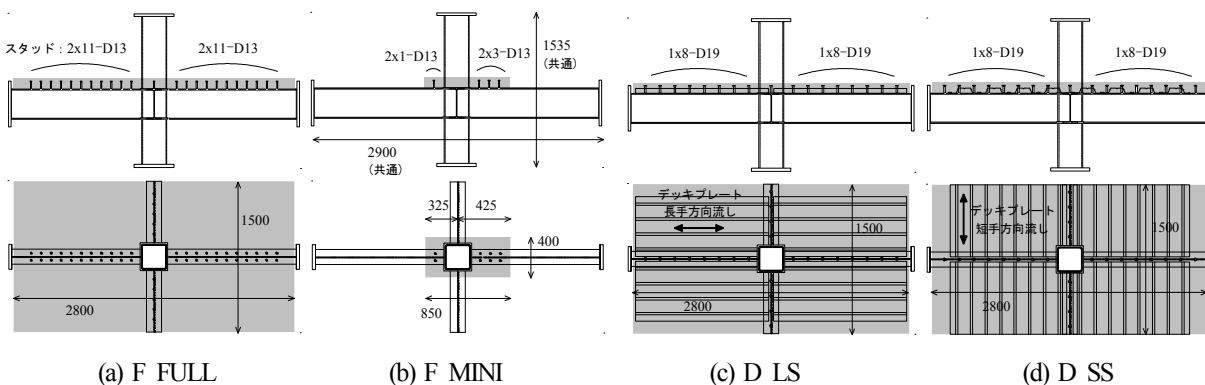


図-2 試験体の概要

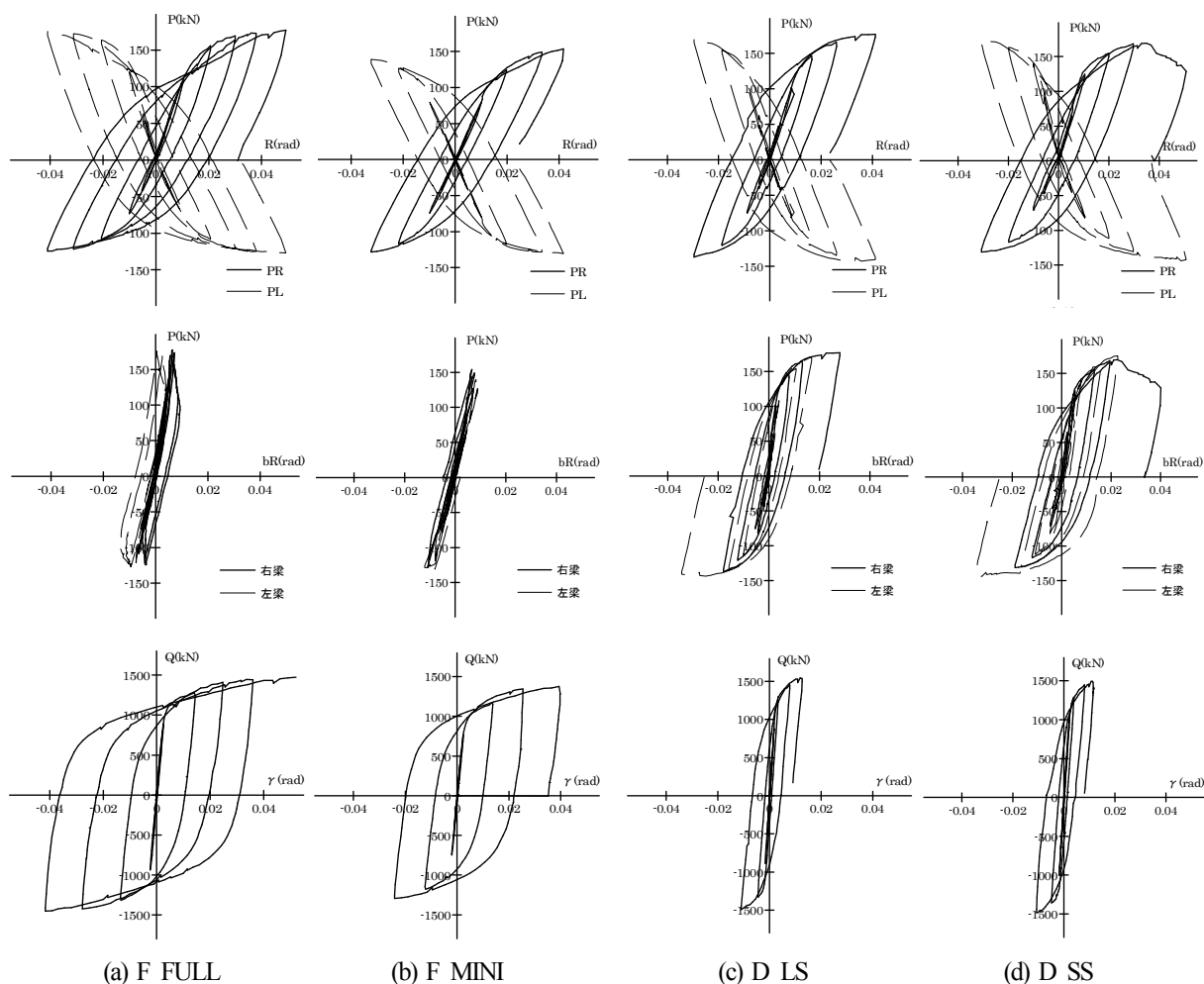


図-5 実験結果（上：全体挙動，中：梁の挙動，下：接合部パネルの挙動）

(2) 実験結果と考察

a) 全体挙動と各部の挙動

実験より得られた全体挙動を左右のジャッキ荷重－層間変形角 ($P-R$) 関係、梁の挙動をジャッキ荷重－部材角 ($P-bR$) 関係、接合部パネルの挙動を見かけのせん断力－せん断変形角 ($Q-\gamma$) 関係として図-5に示す。

Fシリーズの基準となるF_FULLでは、梁に計測機器の問題と考えられる多少の非線形化が見られるが、終局時までほぼ弾性範囲内に収まっており、接合部パネルが大きく塑性化した。梁の挙動は同じ変形に対して、正曲げとなるせん断力(正側)が負曲げとなるせん断力より大きく、梁に対する合成効果が見て取れる。スラブを接合部周辺のみ配した F_MINIについても同じ変形に対して正曲げとなる側のせん断力が大きい、F_FULLに比べるとその差は小さく、梁に対する合成効果そのものが小さいことが分かる。両試験体はジャッキのストローク限界まで破壊に至らず、安定した履歴挙動を示した。

Dシリーズでは、まず梁に塑性化が生じ、ひずみ硬化によって接合部パネルに塑性化が生じた。最終的にはD_LSでは負曲げ側の梁下フランジに局部座屈が観察さ

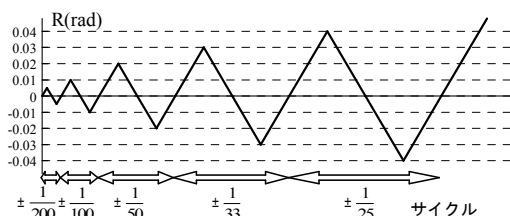


図-4 荷重プログラム

れ、D_SSでは同様に負曲げ側の梁下フランジに局部座屈が発生し、さらに正曲げ側の梁下フランジにスカラップ底を基点とした破断が生じて耐力低下に至った。現段階ではデッキプレートの配置方向が塑性変形能力に及ぼす影響については言及することはできない。デッキプレートの配置方向の影響分析は、今後の課題としたい。

b) 接合部パネルにおける剛性・耐力の上昇

次いで床スラブの存在が接合部パネルの剛性・耐力の上昇に及ぼす影響を考察する。本実験では床スラブのない純鉄骨架構の試験体を用意していないため、ここでは材料試験より得た使用鋼材の応力－歪 ($\sigma-\epsilon$) 関係をせ

せん断応力-歪($\tau-\gamma$)関係に変換し、接合部パネルの断面積を乗じることでせん断力-せん断変形角($Q-\gamma$)関係を算出する。これを床スラブのない純鉄骨架構における接合部パネルの挙動として考え、実験結果と比較して床スラブの影響を考察する。

材料試験の応力-歪($\sigma-\varepsilon$)関係は、式(1)を用いてせん断応力-歪($\tau-\gamma$)関係に変換する。

$$\tau = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} \quad (1a)$$

$$\gamma = \frac{\sigma}{\sqrt{3} G} + \sqrt{3} \, \varepsilon_p \quad (1b)$$

ここで、 ε_e 、 ε_p は軸歪の弾性成分と塑性成分である。

実験結果における接合部パネルの履歴挙動については、図-5に示すようにせん断力-せん断変形角関係において、初めて到達した正負の荷重レベルの履歴曲線をつなぎ合わせて抽出した骨格曲線を用いる。既往の実験⁴⁾で行ったト字形部分架構の接合部パネルの履歴挙動と鋼材の純せん断挙動の比較を図-6に示す。本実験より得られた接合部パネルの履歴挙動と使用鋼材の純せん断挙動の比較を図-7に示し、弾性剛性の比較を表-2にまとめる。

既往の実験⁴⁾より得られた床スラブのないト字形部分架構の接合部パネルの履歴挙動は、使用鋼材の純せん断挙動とよく対応している。特に弾性域から非線形性の現れ始める範囲までは履歴曲線がほぼ一致している。降伏後は接合部パネルの方が高い二次剛性を有しているが、これはパネル周辺の柱梁部材による拘束の影響であると考えられる。

次いで、本実験結果より得られた接合部パネルの履歴挙動について見ると、F_MINIを除けば、弾性剛性は使用鋼材の純せん断挙動と比べて10%程度高くなっており、

非線形性が現れ始める際の耐力も大きいことが分かる。既往の実験結果における比較では、鉄骨梁の接合部パネルと使用鋼材の純せん断挙動は弾性域から非線形性が現れ始めるまでの履歴曲線はほぼ一致していたことから、本実験において床スラブの存在による接合部パネルの剛性・耐力の上昇が確認できたと言える。

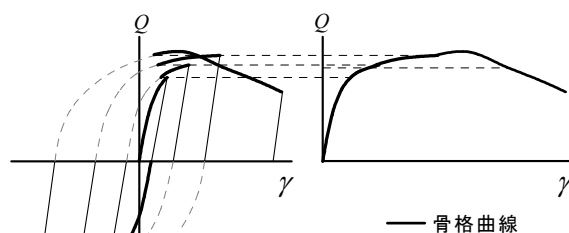


図-5 骨格曲線

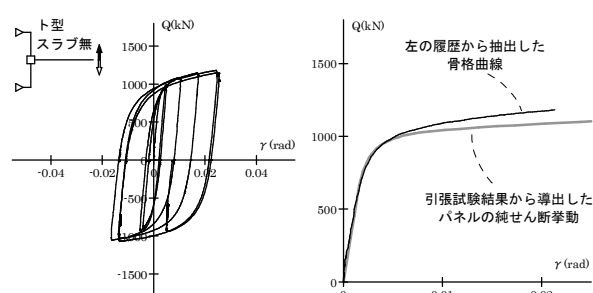


図-6 既往の実験より得られた接合部パネルの挙動⁴⁾と材料特性から求めた純せん断挙動の比較

表-2 弾性剛性の比較

	Fシリーズ					Dシリーズ				
	計算剛性 (純鉄骨) kN/m	F_FULL kN/m	%	F_MINI kN/m	%	計算剛性 (純鉄骨) kN/m	D_LS kN/m	%	D_SS kN/m	%
梁 正側 $P/4R$	16792	28427	169	18184	108	16792	36718	219	21798	130
梁 負側 $P/4R$	16792	16330	97	11449	68	16792	12145	72	16349	97
パネル Q/g	342702	376469	110	343334	100	451248	513775	114	499994	111

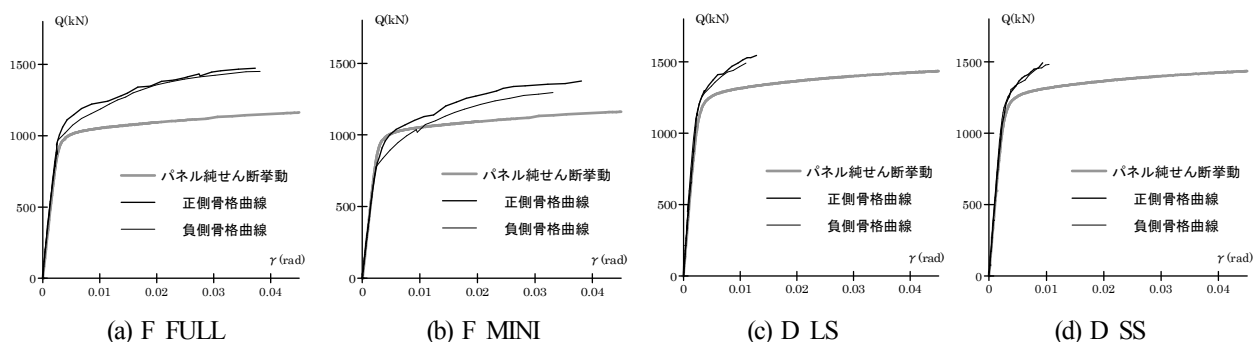


図-7 接合部パネルの挙動と材料特性から求めた純せん断挙動の比較

3. 梁と床スラブの応力伝達を考慮した非線形解析による検討

(1) 床スラブの存在を考慮した耐荷機構の検討

非線形解析による再現に先立ち、床スラブの存在を考慮した接合部パネルにおける耐荷機構について考える。接合部パネル周辺における応力伝達を図-8に示す。床スラブの存在を無視した場合(図-8(a))、接合部パネルに作用するせん断力 Q は、梁端部に作用する曲げモーメント M_{pos} 、 M_{neg} を上下フランジの偶力に置き換えて求めたせん断力から柱のせん断力 H を差し引くことで求める。すなわち、式(2)のように表せる。

$$Q = \frac{M_{pos} - M_{neg}}{d_b} - H \quad (2)$$

一般的な梁断面ではウェブが負担する曲げモーメントは小さく、さらに梁端部では角形鋼管に取り付くためにスキンプレート面の面外変形による応力伝達のロスが生じるため、純鉄骨梁ではこの算出方法によって一様せん断場と見なした際に接合部パネルに作用するせん断力を求めることができる。

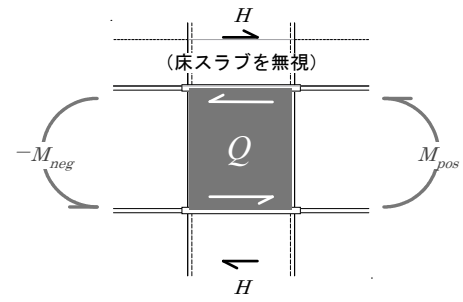
次に床スラブの存在を考慮した場合(図-8(a))を考える。床スラブの曲げ抵抗を無視して圧縮軸力 N のみの伝達を考慮すると、正曲げ側の梁端部に作用する曲げモーメント M_{pos} は、純鉄骨梁が負担する曲げモーメント ${}_bM_{pos}$ と、床スラブと純鉄骨梁に作用する軸力を偶力とした曲げモーメント $N \cdot z$ に分離できる。床スラブの圧縮軸力の反力として純鉄骨梁断面に生じる引張軸力についてもフランジ部分のみが負担すると仮定すれば、図-9に示す寸法を用いて接合部パネルに作用するせん断力 Q^* を式(3)のように表せる。

$$Q^* = \frac{{}_bM_{pos} - M_{neg}}{d_b} - H + \frac{N}{2} \quad (3)$$

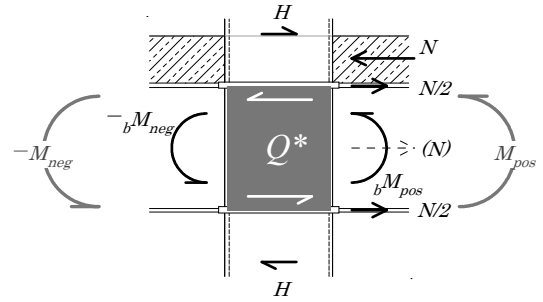
正曲げモーメントのうち床スラブに作用する軸力による負担比を α 、左右の梁端部に作用する正曲げと負曲げの比を β とすれば、それぞれ以下のように表せる。

$$\alpha = \frac{N \cdot z}{M_{pos}} \quad (4a)$$

$$\beta = \frac{M_{neg}}{M_{pos}} \quad (4b)$$



(a) 床スラブの存在を無視した場合



(b) 床スラブの存在を考慮した場合

図-8 接合部パネル周辺における応力伝達

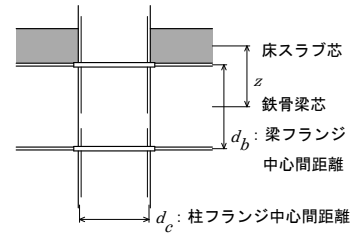


図-9 接合部パネルに関わる寸法の定義

階高 h 、スパン l の床スラブ付きの無限均等ラーメンにおいて上下層の層せん断力の差が等しいと見なせるほど小さい場合を考えると、接合部パネルの上下に取り付く柱のせん断力 H は式(5)のように表せる。

$$H = \frac{M_{pos} - M_{neg}}{h'} \quad (5)$$

$$h' = \begin{cases} (1 - d_c/l) \cdot h & : \text{中柱} \\ (1 - d_c/2l_{pos}) \cdot h & : \text{側柱} \end{cases}$$

ただし、

式(4)と式(5)を式(2)と式(3)に代入し、見かけのせん断力と接合部パネルに作用する真のせん断力の差 $Q - Q^*$ について整理すれば、式(6)を得る。

$$Q - Q^* = \left(1 - \frac{d_b}{2z}\right) \cdot \alpha \cdot \frac{M_{pos}}{d_b} \quad (6)$$

式中の $d_b / 2z$ は常に正の値をとり、床スラブが存在することで接合部パネルに入力されるせん断力は軽減される。つまり、床スラブからの応力伝達を無視して求めた見かけのせん断力 Q を用いると、実際に入力されるせん断力 Q^* を過大評価することになり、見かけのせん断力によって接合部パネルの挙動を評価した場合には床スラブの効果は剛性・耐力の上昇として現れることが分かる。

床スラブが取り付けることにより接合部パネルに作用する真のせん断力 Q^* は、見かけのせん断力 Q よりも小さくなり、見かけのせん断剛性・耐力の上昇として現れる。したがって、接合部パネルに対する合成効果とは、見かけのせん断力に対する真のせん断力の低減率の逆数 Q / Q^* として、式(7)のように表すことができる。

$$\frac{Q}{Q^*} = \frac{1 + \beta - (1 + \beta) \frac{d_b}{h'}}{1 + \beta - (1 + \beta) \frac{d_b}{h'} - \left(1 - \frac{d_b}{2z}\right) \alpha} \quad (7)$$

(2) 接合部パネルの耐荷機構に影響する因子

接合部パネルにおける耐荷機構を仮定して導いた、接合部パネルに対する合成効果を表す式(7)を用い、その影響因子を考察する。

a) 正曲げモーメントと負曲げモーメントの比

正曲げモーメントのうち床スラブに作用する軸力による負担比 α (以下、床スラブの曲げ負担比) を横軸にとり、左右の梁端部に作用する正曲げと負曲げの比 β (以下、正負曲げモーメント比) をパラメータとして式(7)より合成効果 Q / Q^* を求めた結果を図-10に示す。いずれの場合も床スラブの曲げ負担比 α が大きくなるほど、接合部パネルに対する合成効果が大きい。正負曲げモーメント比 β については、ゼロに近づくほど接合部パネルに対する合成効果が大きい。正負曲げモーメント比 β がゼロとなるのは側柱のときであり、柱の左右に梁が取り付け中柱よりも片側のみに梁が取り付け側柱の方が接合部パネルに対する合成効果が大きい。また、柱の左右で梁せいが異なる場合についてもせいの大きな梁側が正曲げを受ける時に接合部パネルに対する合成効果が大きくなる。

b) 床スラブと梁の断面寸法(幾何学的条件)の影響

次いで、同様に床スラブの曲げ負担比 α を横軸にとり、 $d_b / 2z$ をパラメータとして式(7)より合成効果 Q / Q^* を求めた結果を図-11に示す。 $d_b / 2z$ は、梁フランジ中心間距離 d_b の半分と、床スラブと鉄骨梁の図心間距離 z の比であり、床スラブと純鉄骨梁の幾何学的な条件によって定まる変数である。この変数は鉄骨梁の梁せいに対

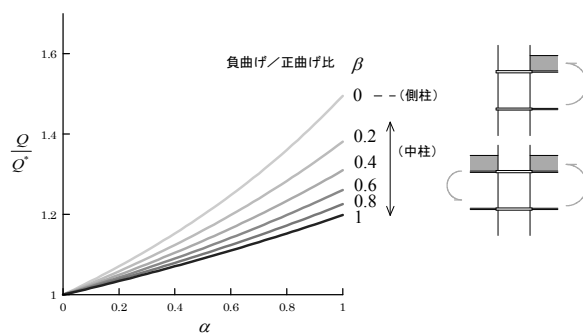


図-10 合成効果に及ぼす正負曲げモーメント比の影響

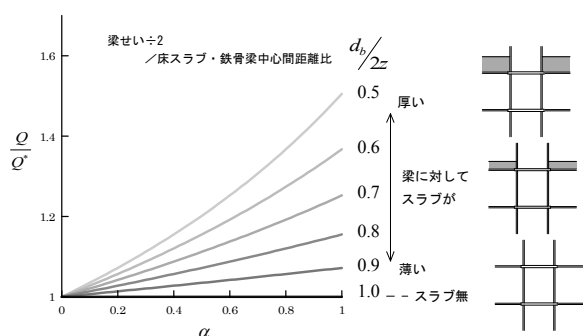


図-11 合成効果に及ぼす幾何学的条件の影響

して床スラブが相対的に厚いほど、またデッキプレートの山が高く床スラブの中心が鉄骨梁から離れるほど小さな値をとる。その反対に床スラブが鉄骨梁のせいに対して薄くなるほど、その値は1に近づく。 $d_b / 2z$ が小さいほど接合部パネルに対する合成効果 Q / Q^* は大きい。床スラブが鉄骨梁に対して相対的に厚いほど、またデッキプレートの山高さによって鉄骨梁との距離が大きくなるほど、床スラブの影響が強く現れることが分かる。その反対に、 $d_b / 2z$ が1に近づくほど、曲線の傾きは緩やかになっている。 $d_b / 2z$ が1のときは床スラブの厚さがゼロであることを意味し、当然ながら作用するせん断力は低減もせず、見かけのせん断力が上昇することもない。

(3) 梁と床スラブの応力伝達を考慮した非線形解析

本論文で行った床スラブ付き十字形部分架構を対象とし、梁と床スラブの応力伝達をモデル化した非線形解析を行い、接合部パネルに対する合成効果の再現を試みる。

a) 解析モデル

解析には、任意形平面骨組の非線形解析プログラム club.f[®] を用いる。解析モデルを図-12に示す。柱梁を曲げせん断変形を考慮した線材要素、接合部パネルをせん断パネルとしてモデル化する。各部材には使用した断面性能と材料特性を与え、接合部パネルの材料特性は前章で求めた純せん断挙動を図-13に示すバイリニア型にモデル化して与える。また、梁端部については梁ウェブの

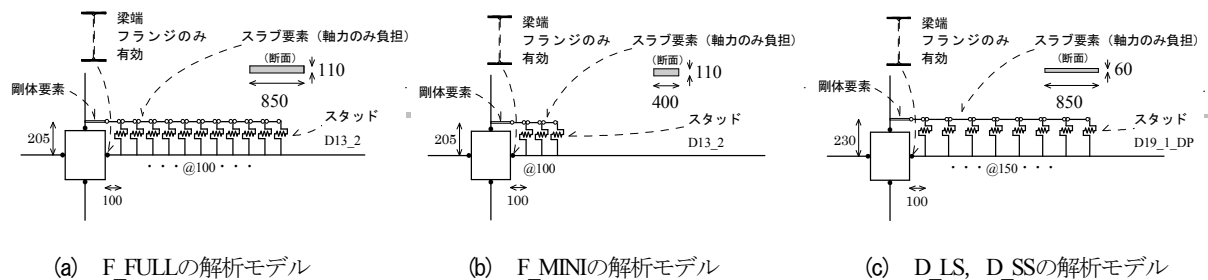


図-12 合成効果に及ぼす正負曲げモーメント比の影響

継ぎ手効率の低下を反映し、曲げ耐力についてはフランジ部分のみが有効であるとして断面性能を与える。

正曲げを受ける側の梁は頭付きスタッドが溶接される位置に節点を有し、その位置で床スラブにせん断ばねを介して接続する。床スラブにはスパンを3,500mmとした時の有効幅850mmを断面幅として与え、F_MINIについてのみ実際の幅400mmを断面幅とする。等厚スラブを用いたFシリーズでは断面厚を110mmとし、床スラブと鉄骨梁間の距離を205mmとする。デッキプレートを用いたDシリーズでは山上高さを有効厚として断面厚を60mm、床スラブと鉄骨梁の距離をと230mmする。床スラブの材料特性についても使用したコンクリートの材料試験結果を用いた。梁と床スラブを接続するせん断ばねは、同一条件で製作して行った押し抜き試験⁷⁾の結果を、図-14に示すようにトリリニア型にモデル化して与える。接合部において床スラブを柱フェイス面まで伸ばした剛体要素に接続し、床スラブの軸力を柱に伝える。

b) 解析結果と考察

前章の床スラブ付き十字形部分架構の実験より得られた骨格曲線と、解析モデルによる解析結果を図-15に示す。解析結果においても接合部パネルの見かけのせん断力 Q を梁の自由端に作用する荷重 P から求め、せん断変形角 γ との関係として示している。また、全体挙動については左右のジャッキ荷重一層間変形角($P-R$)関係を示している。さらにパネル挙動には解析モデルに入力した接合部パネルの特性である使用鋼材の純せん断挙動を、全体挙動には各解析モデルから床スラブとスタッド要素を除いた柱梁とパネルから構成されるNOSLABモデルの解析結果を併せて示した。

FシリーズについてはF_FULL、F_MINIともに接合部パネルにおける耐力の上昇、および塑性化後の挙動をよく再現できている。スタッド要素の多いF_FULLは床スラブからより多くの軸力が床スラブに伝達し、接合部パネルに伝わるせん断力が大きく低減される。そのため、F_FULLはF_MINIに比べて見かけのせん断耐力の上昇が大きいことが分かる。両モデルともに実験結果と同じようにパネル降伏後の耐力上昇が顕著である。全体の挙動

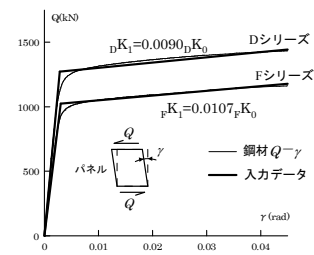
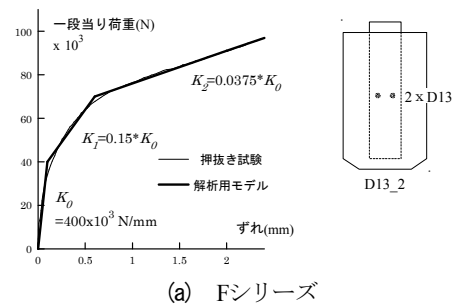
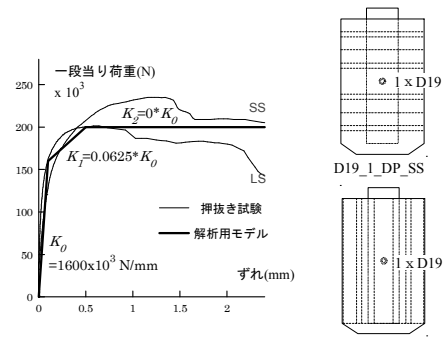


図-13 接合部パネルのモデル化



(a) Fシリーズ



(b) Dシリーズ

図-14 頭付きスタッドの面内せん断挙動のモデル化

についても、正曲げ側と負曲げ側の荷重負担が実験結果と概ね対応しており、梁に対する合成効果を床スラブとスタッド要素のモデル化によって再現できている。

DシリーズのD_LS、D_SSについては、接合部パネルに先行して梁が塑性化した後に接合部パネルが降伏するといった現象を再現することはできなかったが、接合部パネルにおける剛性上昇については実験結果とよく対応している。

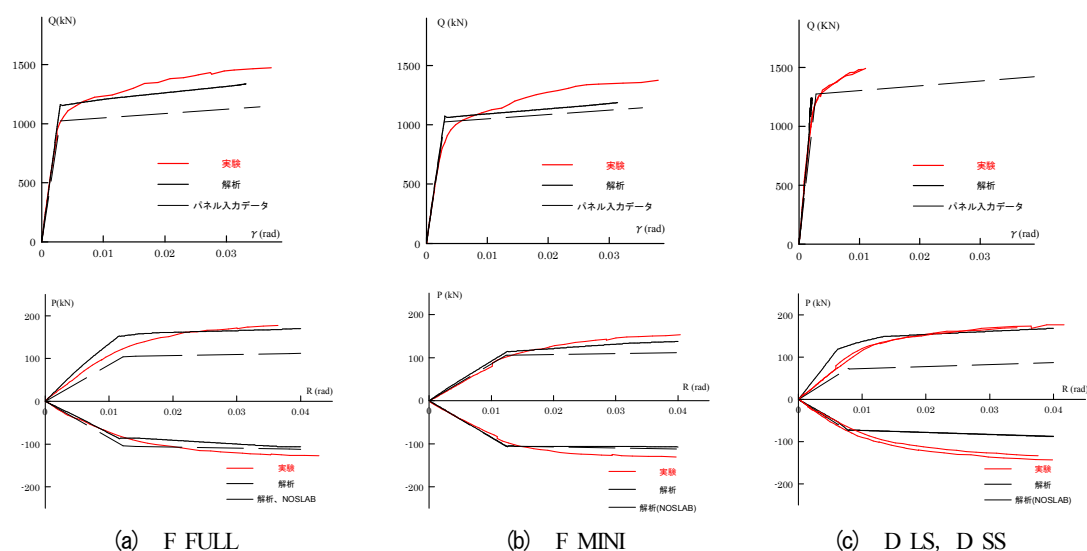


図-15 実験結果と解析結果の比較（上：接合部パネルの挙動，下：全体挙動）

4. まとめ

本研究では床スラブの存在が接合部パネルの弾塑性挙動に及ぼす影響を把握するため、床スラブ付き十字形部分架構の繰り返し載荷実験を行った。また、接合部パネルにおける耐荷機構を仮定して床スラブの存在による剛性・耐力の上昇に及ぼす影響因子を考察した。さらに梁と床スラブの応力伝達を考慮した非線形解析を行い、接合部パネルに対する合成効果を再現した。

謝辞：本研究は科学研究費補助金・若手研究(A)「床スラブの損傷状況に基づいた梁端塑性変形量の被災後評価に関する基礎研究」(課題番号：19686034, 研究代表者：吉敷祥一)による成果であり、元 東京工業大学大学院生の角野大介君の修士論文として実施したものです。論文での頭付きスタッドの押し抜き実験は横浜国立大学にて行い、実験計画に際しては同大学院 教授 田川泰久先生、准教授 松本由香先生に貴重なご助言をいただきました。また、実施にあたっては、技官 今村しおり嬢、大学院生 伊 哲民氏、田口浩平氏にご尽力いただきました。ここに記して関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 仲 威雄, 海野三蔵, 中尾正躬, 小佐野宏: 複合構造柱はり接合部に関する研究, 日本建築学会大会学術講演 構造系, pp. 1869-1870, 1972.10/同 その 2, 日本建築学会大会学術講演 構造系, pp. 1259-1260, 1973.9/同 その 3, 日本建築学会大会学術講演 構造系, pp. 1565-1566, 1979.10
- 2) 河野昭雄, 阿世賀宏, 長谷部廣行: 異なる崩壊モードにおける合成はり付き弱パネル H 形鋼骨組の塑性変形能力に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 452 号, pp. 109-119, 1993.10
- 3) 寺西和記, 椋代仁朗, 高松隆夫, 松尾 彰: 弱パネル型角形鋼管柱・はり接合部の復元力特性に関する実験的研究 その 2 合成ばりを有する場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 分冊, pp. 1253-1254, 1993.9
- 4) 山田 哲, 薩川恵一, 吉敷祥一, 島田侑子, 松岡祐一, 吹田啓一郎: 床スラブの付いたト型部分架構パネルゾーンの弾塑性挙動, 日本建築学会構造系論文集, 2009.10(掲載決定)
- 5) 独立行政法人建築研究所 監修: 2008 年版 冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル, 2008.12
- 6) 小川厚治, 多田元英: 柱・梁接合部パネルの変形を考慮した静的・動的応答解析プログラムの開発, 第 17 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp. 79-84, 1994.12
- 7) 社団法人 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押し抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, 1996.11

ELASTO-PLASTIC BEHAVIOR OF PANEL ZONE AFFECTED BY THE PRESENCE OF CONCRETE SLAB

Shoichi KISHIKI, Keiichi SATSUKAWA, and Satoshi YAMADA

Composite effects on elasto-plastic behavior of beam-column panel zone are discussed in this paper. Cyclic loading tests of four beam-column subassemblies with concrete slab were carried out to evaluate composite effects. Concrete slabs led to increase in initial elastic stiffness and yield strength. Based on observing these test results, evaluation models for the composite effects on panel zone were established. Finally, the composite effects were proven in nonlinear analysis considering transfer mechanism between steel beam and concrete slab.