

楔デバイス付梁継手を有する合成スラブ

高松 隆夫*・玉井 宏章**・景山 朋定***・國井 翔平****

(平成26年10月30日受付)

Composite beam with wedge device joint

Takao TAKAMATSU, Hiroyuki TAMAI, Tomosada KAGEYAMA and Shohei KUNII

(Received Oct. 30, 2014)

Abstract

A beam joint with the wedge-device shows self-centering performance and separation of a tension flange. An experimental study on a beam with concrete slab is carried out to examine the concrete slab constraint the flange separation. It is concluded that the experimental results show the tension flange separation without slab constraint.

Key Words: *Self centering, wedge-device connection, End plate type*

1. はじめに

著者等は構造物の地震後残留変位低減に効果的な性能を持った、「楔デバイス付梁継手^{1,2)}」の研究を行っている。これは、楔デバイスを用いたボルト降伏型の接合部であり、地震エネルギーをボルトのみに吸収させることで、柱・梁に塑性変形が生じず、架構の残留変形が生じないものである。載荷実験により、楔デバイスの効果であるボルト降伏後のスリップ現象を起こさない原点立上り型復元力特性が得られることを、数値解析により、本工法を適用した架構は残留変形が生じないことを明らかにしている。さらに、本工法は継手位置の調節によってボルト降伏型の接合部でありながら保有水平耐力を減少させない特徴を有している。

本工法は、梁継手に離間を生じる接合部であるが、梁の上には床となるコンクリートスラブが取り付く。鋼構造の床スラブは、型枠や鉄筋の役割も果たすことができるデッキプレートを用いたデッキプレート合成スラブとなる。デッキプレートと梁の接合にスタッドボルトを使用する場

合、指針³⁾の基準を満足すれば、スラブと梁が全塑性モーメントを発揮できる完全合成梁として純鉄骨より大きな耐力で設計が可能である。このときの梁剛性の増大率として、一般的に、両側スラブ梁の場合2.00、片側スラブ梁の場合1.50として設計される。一方で、スタッドボルトを用いずデッキプレートと梁を焼抜き栓溶接のみによって接合する方法がある。この場合、剛床としての水平せん断力を伝達が可能であるが、合成梁としての耐力は有さないとされている。剛性増大率も1.00として応力算出が行われることが一般的である。

離間を生じる本工法への適用を考えると、焼抜き栓溶接のみで一体性が少ない工法の方が復元力特性への影響が少ないと思われる。しかしながら、完全合成梁とした架構実験の例はいくつもあるが、焼抜き栓溶接のみで接合した場合の架構実験は見当たらない。

そこで、本論文の目的として、楔デバイス付梁継手を有する焼抜き栓溶接により接合されたデッキプレート合成スラブ架構の実験を行う。スラブのない実験も行い、復元力特性に与える影響を考察する。

* 広島工業大学工学部建築工学科

** 長崎大学工学部工学科

*** 広島工業大学大学院工学系研究科知的機能科学専攻

**** 広島工業大学大学院工学系研究科建設工学専攻

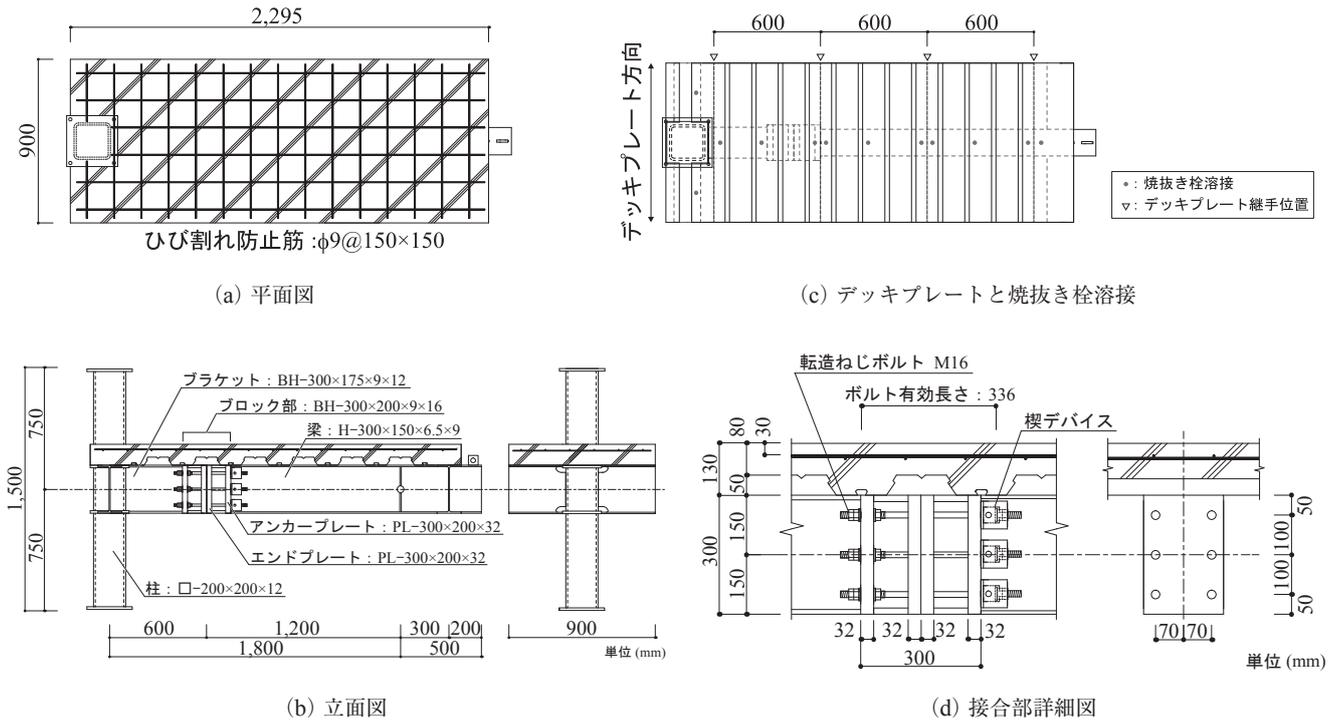


図1 スラブ付試験体

表1 素材特性
(a) 鋼材

部材	材質	ヤング係数 E (N/mm ²)	降伏応力度 σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_U (N/mm ²)	降伏比 σ_y/σ_U (%)	破断伸び (%)
柱	STKR400	205,000	460	515	89	19
梁フランジ	SS400	205,000	311	440	74	31
梁ウェブ	SS400	205,000	362	460	80	23
ブラケットフランジ	SS400	205,000	342	469	73	27
ブラケットウェブ	SS400	205,000	361	440	84	26
ブロック部フランジ	SS400	205,000	288	432	68	31
ブロック部ウェブ	SS400	205,000	374	447	85	23
転造ねじボルト	ABR400	205,000	287	444	66	32

(b) コンクリート

床スラブ コンクリート	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	圧縮強度 F_c (N/mm ²)	引張強度 F_t (N/mm ²)
普通コンクリート (材齢28日)	28800	20.8	1.7

2. 試験体

図1にスラブ付試験体を、表1に素材特性を、それぞれ、示す。

本論文の試験体は鉄骨梁のみのものと鉄骨梁にスラブを取り付けた2体である。二つの試験体はスラブがあるかないかの違いで、スラブ受け等の違いはあるが、柱や梁および継手部の性能は同じである。

2.1 試験体概要

試験体は柱と片側の梁を想定したT字型とし、水平荷重に対する曲げモーメントの反曲点位置までを取りだした部分架構

を用いる。部材として、柱には□-200x200x12を、梁にはH-300x150x6.5x9を、ブラケットにはBH-300x175x9x12を、ブロック部にはBH-300x175x9x16を用いる。

ブラケットは梁の全塑性モーメントに対して弾性を保つ断面として設計している。ブロック部は、フランジ位置が接合部の回転中心となるため過大な圧縮力が作用するが、この力に対して降伏しない断面とする。

アンカーボルトには伸び能力が確保された転造ねじアンカーボルトM16を使用する。ボルト接合部は、3列に2本ずつ、計6本の転造ねじボルトを用い、楔デバイスを介してダブルナットにより接合する。内ナットはブラケット側のみに設けて楔デバイス側に塑性伸びを発生させる。

接合部の最大耐力は、梁の全塑性モーメントに対して3割程度として設計している。1章に示したように、保有水平耐力が通常の架構と同等の値にするには、本試験体のブラケット長さの場合、7割程度必要である。

エンドプレート・ボルトプレート厚はボルト径の2倍である32mmとして面外変形に対して安全側に設計している。しかしながら、エンドプレートには圧縮力とせん断力のみ作用する機構であるため、板厚を下げるのが可能だと考えている。エンドプレート・ボルトプレートの板厚に関しては今後の検討課題である。尚、せん断力はエンドプレートの摩擦によって伝達され、設置面に発錆処理を施している。

2.2 スラブ付き試験体

床スラブはデッキ合成スラブとし、焼抜き栓溶接により梁とデッキプレートを接合する。1章でも示したが、スタッドボルトを用いず、焼抜き栓溶接のみの接合とした場合、一般に、剛性増大率を1.00として計算される。焼抜き栓溶接によって剛性が増大することも考えられるが、完全合成梁とは違い、塑性域までの合成効果を保障するものではないため、梁継手の離間に十分対応可能であると考え採用

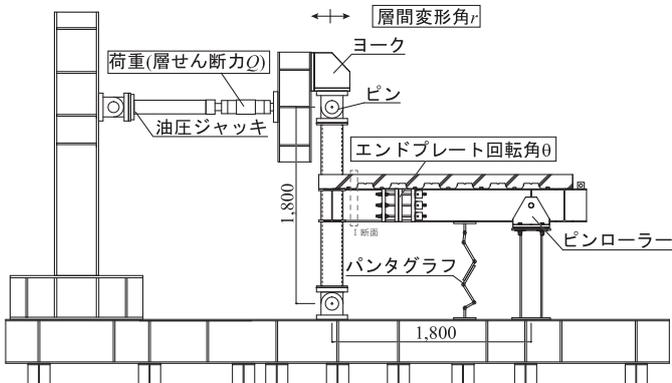


図2 荷重装置と計測値

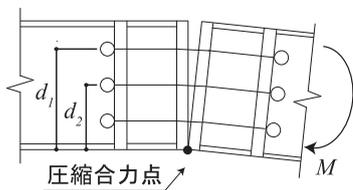


図4 抵抗機構

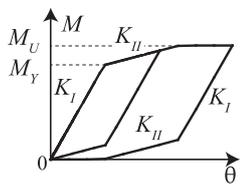


図5 復元力特性モデル

している。

スラブの幅は有効幅を900mmとして設定している。スラブ厚はデッキプレートの山上から80mmとし、デッキプレートを含めた高さを130mmとする。スラブ内の鉄筋はコンクリートのひび割れ防止筋とし溶接金網のφ6-150x150をかぶり厚30mmとしている。

デッキプレートは合成スラブ用デッキプレート (t1.2, 山高50mm) を使用し、梁に直交する向きに焼抜き栓溶接によって梁フランジに接合している。

3. 実験概要

3.1 荷重装置と荷重方法

図2に荷重装置と計測位置を、図3に荷重プログラムを、それぞれ、示す。

荷重は、柱上端に取り付けたピンにヨークを介して設置した油圧ジャッキによって行う。油圧ジャッキは、ピン中心とジャッキ軸心が一致するように設置している。試験体の支持状態としては、柱下端部をピン支持、梁先端をピンローラー支持としている。ローラーにはスライドベアリングを用いている。また、梁の横振れ止めとして、梁部材中央部にパンタグラフを設置している。

荷重方法は梁端部の変位 δ_r から算定した層間変形角を制御値とした、正負交番繰返し漸増荷重とする。弾性荷重として1/1000, 1/500radを、弾塑性荷重として1/200, 1/100, 1/50radを、それぞれの荷重で2サイクルずつ行う。実験は、ボルトに導入する初期張力を変数とし、ボルト降伏軸力の30%の軸力を入れた試験体で実験を行う。

3.2 計測方法

計測値として、油圧ジャッキ先端に設置したロードセル

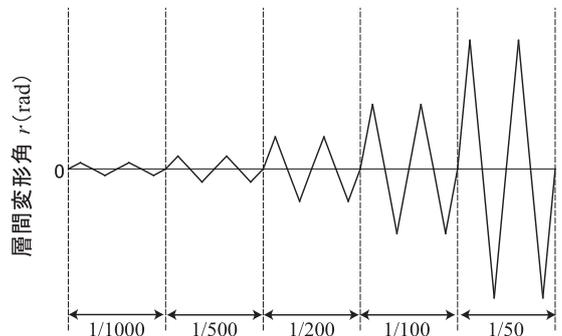


図3 荷重プログラム

表2 接合部特性値

弾性回転剛性 K_I (kNm/rad)	2次勾配 K_{II} (kNm/rad)	降伏モーメント M_Y (kNm)	最大モーメント M_U (kNm)
8.61×10^3	2.28×10^3	32.9	38.7

より荷重 P を、梁端部に設置した変位計により、鉛直変位 δ_1 、エンドプレート離間量 δ_1 、 δ_2 をそれぞれ計測する。また、荷重 P より、ボルト接合部曲げモーメント M を、エンドプレート離間量 δ_1 、 δ_2 より、エンドプレート回転角 θ を算出する。各ボルトのひずみ度をひずみゲージにより計測する。

ボルト接合部曲げモーメント M 、エンドプレート回転角 θ は次式により算定する。

$$M = P \cdot L_B \quad \dots (3.2.1)$$

$$\theta = \frac{\delta_1 - \delta_2}{D} \quad \dots (3.2.2)$$

ここに、 P ：荷重、 L_B ：梁支点からボルト接合部までの距離、 D ：エンドプレートに設置した変位計間距離である。

層せん断力 Q 、層間変形角 r は、以下の算定方法により求める。

$$Q = P \quad \dots (3.2.3)$$

$$r = \frac{\delta_Y}{L_C} \quad \dots (3.2.4)$$

ここに、 L_C ：柱支点間距離である。

3.3 復元力特性モデル

図4に抵抗機構を、図5に復元力特性モデルを、表2に接合部特性値を、それぞれ、示す。

梁継手部の復元力特性モデルを示す。圧縮合力点を中心とした最内列ボルトの抵抗は最外列ボルトと比較して、弾性回転剛性・曲げモーメントともに小さい。このため、最内列ボルトはモデルの算定に考慮せず、他2列のボルトの

抵抗を Tri-linear 型として表す。

耐力評価について、各列ボルト降伏曲げモーメント M_{Yi} は、圧縮合力点位置からの曲げモーメントの釣り合いにより、次式より算定する。

$$M_{Yi} = n_i \cdot A \cdot \sigma_Y \cdot d_i \quad \dots (3.3.1)$$

ここで、 n_i ：各列のボルト本数、 A ：ボルト断面積、 σ_Y ：ボルト降伏応力度、 d_i ：圧縮合力点位置から各列ボルト軸心までの距離である。

各ボルト列の弾性回転剛性 K_i は次式により算定する。

$$K_i = \frac{E \cdot n_i \cdot A \cdot d_i^2}{R \cdot l_b} \quad \dots (3.3.2)$$

ここに、 E ：ヤング係数、 l_b ：ボルト有効長さ、 R ：エンドプレートと梁材の弾性変形を考慮した低減係数であり、 $R=2^3$ を採用している。

復元力特性モデル算定式を以下に示す。

$$K_I = K_1 + K_2 \quad \dots (3.3.3)$$

$$K_{II} = K_2 \quad \dots (3.3.4)$$

$$M_Y = M_{Y1} + \frac{d_2}{d_1} M_{Y2} \quad \dots (3.3.5)$$

$$M_U = M_{Y1} + M_{Y2} \quad \dots (3.3.6)$$

$$\theta_Y = M_Y / K_I \quad \dots (3.3.7)$$

$$\theta_U = \theta_Y + (M_U - M_Y) / K_{II} \quad \dots (3.3.8)$$

ここに、 K_I ：弾性剛性、 K_{II} ：二次勾配、 M_Y ：ボルト接

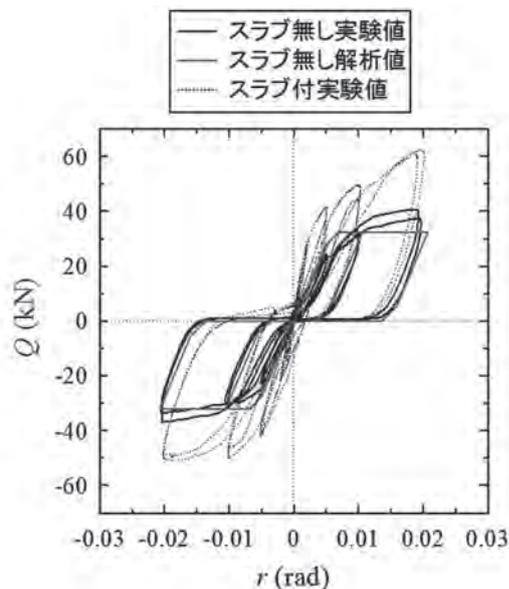


図6 Q-r 関係

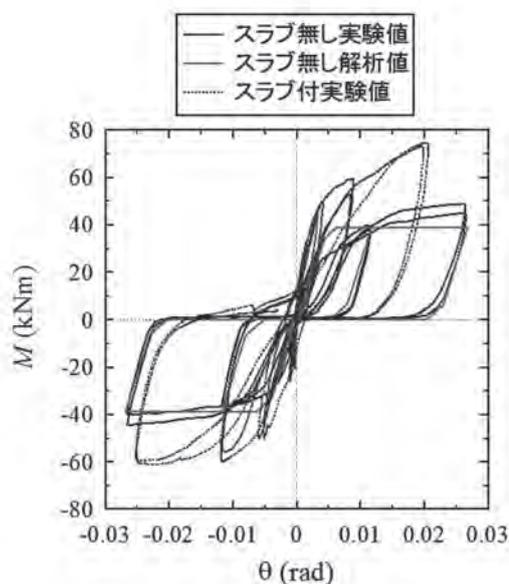


図7 M-θ 関係

合部降伏曲げモーメント, M_U : ボルト接合部最大曲げモーメント, θ_y : ボルト接合部降伏曲げモーメント時のエンドプレート回転角, θ_U : ボルト接合部最大曲げモーメント時のエンドプレート回転角である。

4. 結果と考察

図6に $Q-r$ 関係を, 図7に $M-\theta$ 関係を, 図8にひずみ度分布を, 図9にひび割れを, 図10に梁端付近ひび割れを, それぞれ, 示す。尚, 図6, 図7にはスラブ無しの場合の復元力特性モデルを解析値としてあわせて示す。図8には正負それぞれの最大モーメント時におけるひずみ度分布を示しており, 鉄骨断面の理論値を合わせて示している。

スラブ無し試験体の結果を見ると, 原点立上り型復元力特性を示し, 実験値と解析値もおおむね対応する。理論値によって評価できることがわかる。

スラブ付試験体を見ると, 接合部が離間し, 原点立上り型復元力特性を示す。スラブ無しの場合と比較すると, 初

期のサイクルで剛性が大きく, 最大モーメントが上昇している。

まず, 剛性については層間変形角 $1/200\text{rad}$ のサイクル目まで, 大きな値をしているが, その後は低下し, スラブ無しの結果と同様な値を示している。剛性増大率が1.00で行われる床スラブの工法であっても, 2倍程度, 大きくなっている。しかしながら, 引っ張り方向への $1/200\text{rad}$ -1サイクルでコンクリートにひび割れが生じ, それ以降のサイクルで一体性が失われ, 純鉄骨試験体の剛性と同じようになる。

最大モーメントを見ると, スラブ無しの結果と比較して, 両方向とも1.5倍程度, 大きくなっている。これは, 床スラブの抵抗のためである。正曲げにおいてはスラブコンクリートの抵抗のためであり, 負曲げにおいてはデッキプレートの抵抗のためである。完全合成梁として設計できない床スラブ工法でも耐力が上昇する。

図8を見ると, 正曲げ時はコンクリートのひずみが大き

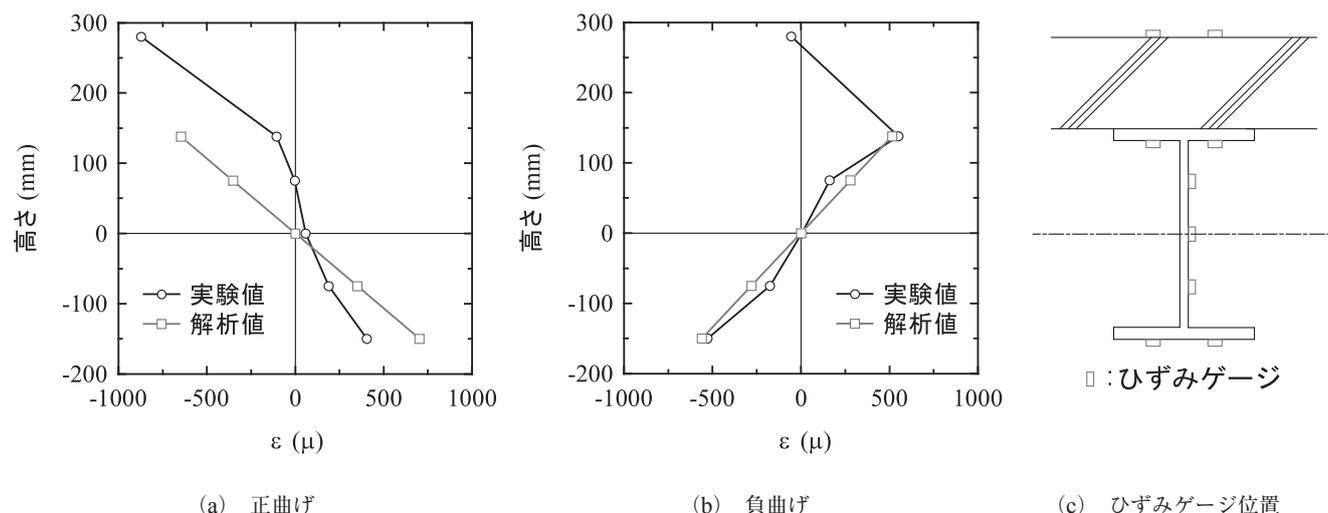


図8 ひずみ度分布

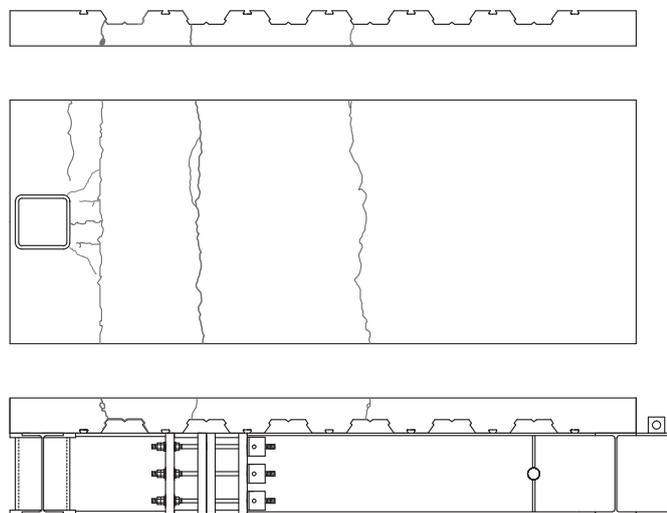


図9 ひび割れ



図10 梁端付近ひび割れ

くなっており、コンクリートの抵抗が大きいことがわかる。負曲げ時では、コンクリートは抵抗しておらず、梁のひずみ度分布が解析値と対応する。梁ウェブのひずみゲージの値が0になっており、中立軸位置が鉄骨のみの場合と変わらないことがわかる。

図9のひび割れを見ると、主に、デッキの敷き方向のひび割れと、柱の圧縮によるひび割れが発生している。敷き方向のひび割れを見ると、継手位置と梁端部付近に1mmの大きさで発生している。梁端部付近で発生するのは、梁端部は最も大きな曲げモーメントが生じるため、端部より内側で発生しているのは、デッキプレートの山部分のコンクリート断面が小さく、端部よりひび割れ強度が小さいためである。継手部分にもひび割れが入るが、梁端部とひび割れの大きさが変わらないため、継続使用に問題があるほどのひび割れを与えないことがわかる。尚、スラブ中央のひび割れは施工不良によるものである。

図10より、デッキプレートとコンクリートが完全に離間を生じ、一体性が損なわれることがわかる。

5. 結論

本論文では、床スラブによる楔デバイス付梁継手の復元力特性の影響を確認した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 完全合成梁と評価できない焼抜き栓溶接のみによる合成スラブは、楔デバイス付梁継手の離間を拘束せず、原点立上り型復元力特性を示す。
- 2) 初期のサイクルで剛性は増加するが、コンクリートにひび割れが生じた以降のサイクルで、剛性の増加が小さくなる。

- 3) 本実験において、完全合成梁と評価できない床スラブの工法としても、耐力が1.5倍上昇する。

本実験はスラブを接合した場合でも接合部が離間することの確認を目的としていたため、接合部耐力を低めに設定しており、このことが実験結果で耐力が上昇している理由のひとつになっていると考えられる。耐力を大きく設定すれば、コンクリートのひずみ度が大きくなり、最大モーメント付近において、本実験とは異なる挙動をする可能性がある。今後、これを考慮した研究を行い、床スラブが復元力特性へ与える影響を検討する。

謝 辞

試験体作製にあたりまして、フルサト工業株式会社には、転造ねじアンカーボルトを、日鐵住金建材株式会社には、デッキプレートを、それぞれ提供していただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 景山朋定, 高松隆夫, 玉井宏章, 山西央朗, 國井翔平: 長締めボルトを用いた楔デバイス付梁継手の載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), CD-ROM 論文番号 -22393, 2014.9
- 2) 景山朋定, 高松隆夫, 玉井宏章, 山西央朗, 國井翔平: 楔デバイス付接合部を有する架構のエネルギー吸収性能, 鋼構造年次論文報告集, pp498-503, 2013.11
- 3) 日本建築学会: 各種剛性構造設計指針・同解説, 2010.11
- 4) 秋山宏: 鉄骨柱脚の耐震設計, 技法堂出版, 1985.3.