
突起付 H 形鋼を用いた高耐震複合構造橋脚

Earthquake-Proof Composite Bridge Column Using Deformed H-Shapes

大久保 浩弥 (Hiroya Okubo) 森川 孝義 (Takayoshi Morikawa) 岡 由剛
(Yoshitake Oka)

要旨：

橋脚の耐震性向上、橋脚施工の合理化といったニーズに答えうる工法として、突起付 H 形鋼とプレキャスト埋設型枠を用いた鉄骨コンクリート複合構造橋脚（REED 工法）を提案し、構造特性ならびに施工性を検証した。その結果、以下の諸点が明らかになった。(1) 梁曲げせん断試験から、提案した構造が H 形鋼を断面積が等価な鉄筋に置換した RC 方式で設計できる。(2) 提案した構造の最大ひび割れ幅は RC 構造に比べて小さい。(3) 水平交番載荷実験から、提案した工法は在来工法に比べてじん性に富んだ挙動を示し、耐震性に優れた構造である。(4) 実施工において提案した工法の工期縮減率および省人化率は、在来工法との比較において、各々 64%、46% である。

Synopsis：

A proposed composite bridge column (REED method) has been developed with the aims of speedy construction, labor saving, and increase in resistance against earthquake. For the purpose of achieving these objects, the composite bridge column consists of precast forms, deformed H-shapes as an alternative material for reinforcing bars, and filled-in concrete. The present study has verified the mechanical characteristics and the construction conditions of the composite bridge column. As a result of the studies, the followings are confirmed: (1) The composite structure can be designed on the basis of RC method wherein deformed H-shapes are treated as equivalents for reinforcing bars. (2) The ductility (resistance against earthquake) of the composite structure is more excellent than that of a conventional reinforced structure. (3) The reduction ratios of the construction period and the labor force of the composite pier method, as compared with those of a conventional method, are 64% and 46%, respectively.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Earthquake-Proof Composite Bridge Column Using Deformed H-Shapes



大久保 浩弥

Hiroya Okubo

建材センター 鋼構造
研究所 主任研究員
(掛長)



森川 孝義

Takayoshi Morikawa

建材センター 建材技
術部 主査(部長補)



岡 由剛

Yoshitake Oka

建材センター 建材技
術部

要旨

橋脚の耐震性向上、橋脚施工の合理化といったニーズに答えうる工法として、突起付 H 形鋼とプレキャスト埋設型枠を用いた鉄骨コンクリート複合構造橋脚 (REED 工法) を提案し、構造特性ならびに施工性を検証した。その結果、以下の諸点が明らかになった。(1) 梁曲げせん断試験から、提案した構造が H 形鋼を断面積が等価な鉄筋に置換した RC 方式で設計できる。(2) 提案した構造の最大ひび割れ幅は RC 構造に比べて小さい。(3) 水平交番荷重実験から、提案した工法は在来工法に比べてじん性に富んだ挙動を示し、耐震性に優れた構造である。(4) 実施工において提案した工法の工期縮減率および省人化率は、在来工法との比較において、各々 64%、46% である。

Synopsis:

A proposed composite bridge column (REED method) has been developed with the aims of speedy construction, labor saving, and increase in resistance against earthquake. For the purpose of achieving these objects, the composite bridge column consists of precast forms, deformed H-shapes as an alternative material for reinforcing bars, and filled-in concrete. The present study has verified the mechanical characteristics and the construction conditions of the composite bridge column. As a result of the studies, the followings are confirmed: (1) The composite structure can be designed on the basis of RC method wherein deformed H-shapes are treated as equivalents for reinforcing bars. (2) The ductility (resistance against earthquake) of the composite structure is more excellent than that of a conventional reinforced structure. (3) The reduction ratios of the construction period and the labor force of the composite pier method, as compared with those of a conventional method, are 64% and 46%, respectively.

1 緒 言

兵庫県南部地震で土木構造物などの社会資本に多大な被害が発生してから、これらの耐震性が以前にも増して重要視されるようになってきた。なかでも高速道路などの橋脚は、その重要性から耐震性の向上が特に求められている。

一方、今後建設が増えることが予想される山岳部などの高橋脚では、施工の省力化や省人化、急速施工化が求められている。また、今後の建設業界の労働力不足に対する懸念からも、施工の合理化を図れる橋脚の開発が望まれている。

このような背景のもと、これらのニーズに答えうる工法のひとつとして、従来の鉄筋コンクリート橋脚 (RC 橋脚) の主鉄筋の代替として突起付 H 形鋼「ストライプ H」を用いるとともに、型枠としてプレキャスト埋設型枠「SEED フォーム」を使用した鉄骨コンクリート複合構造橋脚「REED 工法」を開発した (Fig. 1)。

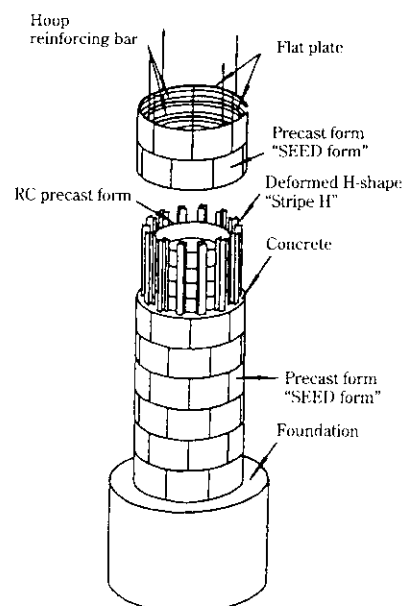


Fig. 1 General view of hybrid bridge column

* 平成 9 年 11 月 11 日原稿受付

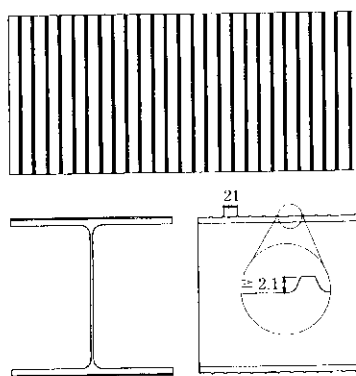


Fig. 2 Deformed H-shape "Stripe H" (schema of H-300 x 300 series)

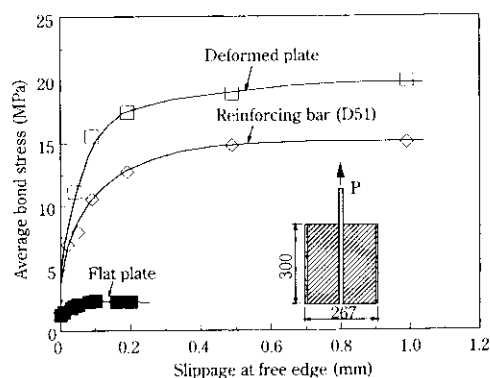


Fig. 3 Bond stress-slippage relationship for pull out tests

本論文は主として、(1) 梁部材を対象にした曲げせん断試験によって、本構造の耐荷性能、設計法、ひび割れ分散性について検討した結果、(2) 大型モデルを対象にした水平交番載荷実験によって、橋脚としての耐震性能を検討した結果を報告するとともに、(3) 本工法の施工性について実施例を紹介したものである。

2 突起付 H 形鋼「ストライプ H」

突起付 H 形鋼「ストライプ H」とは、コンクリートとの一体性を向上させるために、圧延時にフランジ外表面に横節状の突起を設けたものである (Fig. 2)。突起の高さと間隔は、例えば 300 サイズの H 形鋼では、高さ 2.1 mm 以上、間隔 21 mm を標準としている。

突起部の付着強度を評価した付着試験の結果を Fig. 3 に示す²⁾。この実験は、圧延した 300 サイズの突起付 H 形鋼のフランジ部から切出した鋼板を両側に突起が配置されるように貼り合わせた試験片を、鋼管を型枠にして打設したコンクリート中に設置し、これを引き抜く方法で実施されている。この実験において、この突起付鋼材の付着強度が D51 と同等以上であることが確認されている。

3 鉄骨コンクリート複合構造橋脚の特徴

突起付 H 形鋼「ストライプ H」とプレキャスト埋設型枠「SEED フォーム」を用いた鉄骨コンクリート複合構造橋脚「REED 工法」の特徴を以下に列挙する。

- (1) 鉄骨を主鉄筋の代替として用いることによる高所での鉄筋組立作業の省略、プレキャスト埋設型枠を使用することによる型枠脱型作業の省略が可能であり、省人化・急速施工化などの施

工の合理化、ならびに安全性の向上などの施工上の利点が多い (5 章に詳述)。

- (2) RC 橋脚の主鉄筋の代わりに座屈耐力の大きい鉄骨を用いていることから、耐震性に優れる (4.2 節に詳述)。
- (3) 表面に突起のない鉄骨を用いた一般の鉄骨コンクリート構造であっても、RC 橋脚と比べて現場施工の省人化・急速施工化を達成することは可能である。しかしながら、鉄骨とコンクリートとの付着が鉄筋の場合より劣るため、鉄筋コンクリート構造 (RC 構造) と比べてひび割れ分散性が劣るという弱点がある³⁾。本提案工法ではこの弱点を克服する目的で、コンクリートとの付着特性に優れる突起付 H 形鋼を用いている (4.1 節に詳述)。
- (4) 突起の付着力によってコンクリートとの一体化を図る突起付 H 形鋼を用いた本工法は、設計法として、突起付 H 形鋼を鉄筋に置き換えた鉄筋コンクリート方式 (RC 方式) が適用できる (4.1 節に詳述)。
- (5) 橋脚表面に配置するプレキャスト埋設型枠「SEED フォーム」が、高強度モルタルにステンレスファイバーを混入した高耐久性の型枠であるため、塩害、凍害、中性化などに対する抵抗性が改善され、耐久性が向上する³⁾。

4 鉄骨コンクリート複合構造の構造性能評価

4.1 曲げせん断試験による耐荷性能・ひび割れ分散性評価

4.1.1 実験概要

供試体の形状・寸法および配筋を Fig. 4 に、その仕様を Table 1 に示す。試験体は幅 50 cm、高さ 80 cm、全長 460 cm で、鉄筋コンクリート構造試験体 (RC 試験体)、鉄骨コンクリート構造試験体 (SC 試験体)、ならびに SC 試験体の圧縮側、引張側に厚さ 30 mm のプレキャスト型枠「SEED フォーム」を配置した試験体 (SCP 試

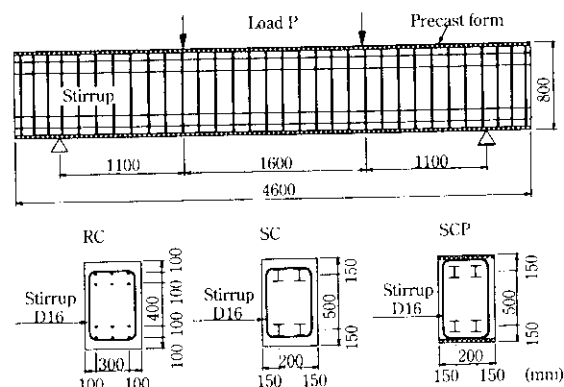


Fig. 4 Schemata and types of test specimens

Table 1 Test specimens

Specimen	Type	Longitudinal steel	Steel ratio (%)
RC	Reinforced concrete	D25	0.94
SC	Steel concrete	Deformed H-shape	0.91
SCP	Steel concrete using precast form	100 x 100	

Table 2 Mechanical properties of steels

Steel	Strain on allowable stress * (μ)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)
D16 (SD345)	908	382.8	568.3	187
D25 (SD345)	901	386.1	553.2	194
Deformed H-shape (SS400)	673	320.5	453.5	204

*: Reinforcing bar 176.4 MPa, Deformed H-shape 137.2 MPa

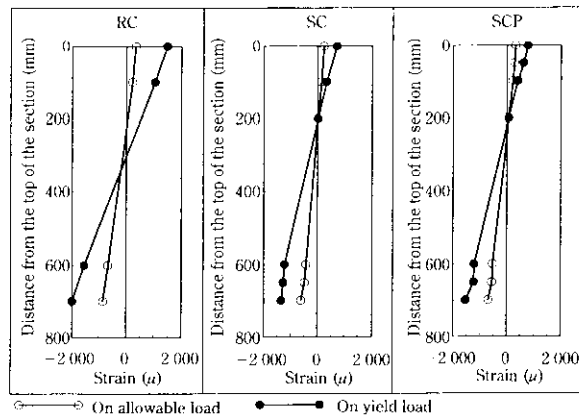


Fig. 5 Strain distribution of cross section

験体) の 3 体とした。試験体に用いた 100 サイズの突起付 H 形鋼は、圧延では製造していないため、一般の H 形鋼のフランジ外表面を機械加工で切削することにより突起を設けた。突起高さ 2.5 mm、間隔 20 mm、突起部分を除いた H 形鋼の有効断面積は 14.8 cm² であった。コンクリートは、呼び強度 23.5 MPa のレディーミクストコンクリートを使用した。試験体にはスターラップ (D16) を全長にわたり 15 cm ピッチで配置し、せん断補強した。Table 2 に鉄筋・鉄骨の機械的性質を示す。

荷重は等曲げ区間 160 cm、せん断区間 110 cm の 2 点荷重とし、荷重に伴うたわみ、主鋼材 (鉄筋・鉄骨) ひずみとコンクリートひずみ、ひび割れ幅を計測した。ひび割れ幅は、コンタクトゲージにより測定した。

4.1.2 実験結果ならびに考察

試験体はいずれも、主鋼材 (主筋・鉄骨) が降伏し、大変形が生じた後、圧縮側のコンクリートまたはプレキャスト型枠が圧壊して破壊するという同様な耐荷特性を示した。

各試験体の支配断面における許容応力時 (鉄筋: 176.4 MPa, 鉄骨: 137.2 MPa)、降伏直前のひずみ分布を Fig. 5 に示す。いずれの試験体も断面内の平面保持がほぼ成立しており、SC 試験体ならびに SCP 試験体の場合も RC 方式で応力算定ができると考えられる。この方式により各荷重状態の耐荷力を算出し、実験結果と比較した結果を Table 3 に示す。いずれの試験体も主鋼材 (主筋・鉄骨) 許容応力時、主鋼材 (主筋・鉄骨) 降伏応力時荷重の計算値は実験結果とほぼ一致している。また、SC 試験体ならびに SCP 試験体の終局時荷重についても、RC 試験体と同様の終局強度法で実用上十分な精度で算定できることが確認できた。

Fig. 6 は、ひび割れ分散性を評価するひとつの指標である最大ひび割れ幅を、荷重モーメントとの関係で示したものである。SC 試験体と RC 試験体を比較した場合、荷重モーメントが 400 kN・m を

Table 3 Summary of experimental results

Legend		Specimen		
		RC	SC	SCP
Concrete strength (MPa)	Compressive strength	36.1	35.0	28.8
	Tensile strength	3.20	2.64	2.34
Cracking load (kN)	Experimental value	235	176	392
	Calculated value	314	225	225
	Exp./Cal.	0.76	0.78	1.74
Allowable load (kN)	Experimental value	568	431	568
	Calculated value	519	431	431
	Exp./Cal.	1.10	1.00	1.32
Yield load (kN)	Experimental value	1156	1019	1137
	Calculated value	1137	1009	1009
	Exp./Cal.	1.02	1.01	1.13
Ultimate load (kN)	Experimental value	1490	1392	1431
	Calculated value	1411	1156	1137
	Exp./Cal.	1.06	1.20	1.26
Yield displacement δ_y (mm)		8.3	6.4	7.2
Ultimate displacement δ_u (mm)		50.0	47.9	62.2
Ductility factor δ_u/δ_y		6.0	7.5	8.7

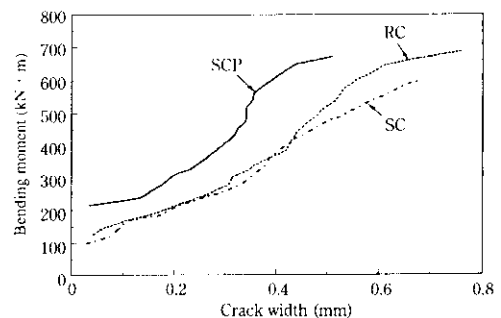


Fig. 6 Bending moment-crack width relationship

を超えた付近から、SC 試験体のひび割れ幅が RC 試験体のそれよりやや大きくなるものの、400 kN・m 以下では両者のひび割れ幅はほぼ同等である。この 400 kN・m は、突起付 H 形鋼に、SS400 の降伏点の下限値として日本工業規格 (JIS) に規定されている値にほぼ等しい、231 MPa の応力が発生している時点に相当する。ひび割れに対する配慮が必要になるのが使用限界状態に相当する荷重レベルであることを考慮すると、突起付 H 形鋼を用いた SC 試験体の最大ひび割れ幅は RC 試験体とほぼ同等と言えよう。

一方、この突起付 H 形鋼を用いた SC 試験体の上・下面にプレキャスト型枠「SEED フォーム」を配置した SCP 試験体の最大ひび割れ幅は、SC 試験体ならびに RC 試験体に比べて全ての荷重レベルにおいて小さい。これは引張側に配置したステンレスファイバー混入のプレキャスト型枠が引張材として機能し、ひび割れ制御効果を発揮したためと考えられる。

4.2 水平交番荷重実験による耐震性能評価

4.2.1 実験概要

供試体の形状・寸法および鋼材の配置を Fig. 7 に、またその仕様を Table 4 に示す。試験体の脚柱部は外径 90 cm、内径 30 cm の中空円筒形である。試験体は鉄筋コンクリート構造試験体 (RC 試験体) と鉄骨コンクリート構造試験体 (SCP 試験体) の 2 体とした。Table 5、6 にコンクリートおよびプレキャスト型枠の基材モルタルの材料試験結果、鋼材の機械的性質を各々示す。

試験体の鋼材量のうち軸方向鋼材量については、RC と SCP 両試

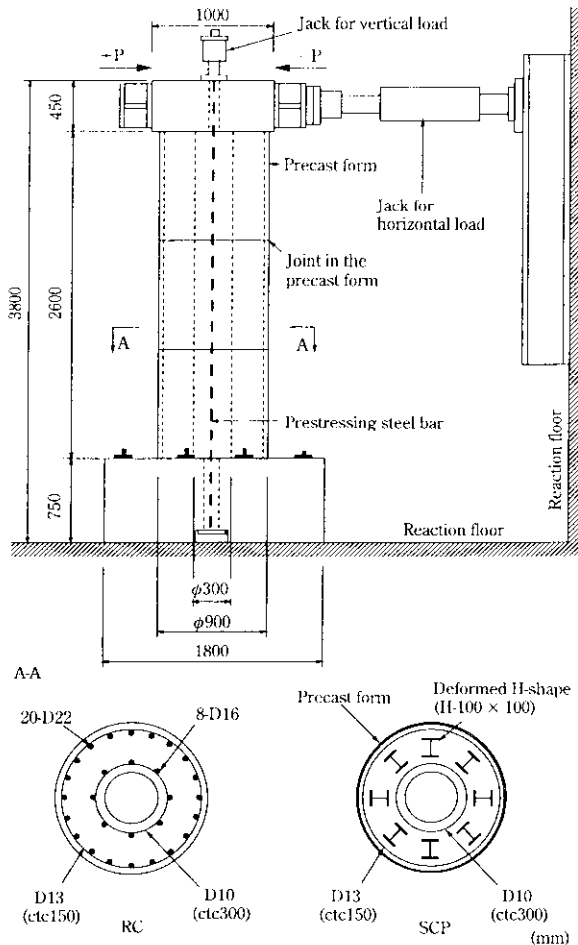


Fig. 7 Schemata and types of test specimens

Table 4 Test specimens

Specimen	Type	Longitudinal steel	Ratio of longitudinal steel (%)	Ratio of hoop reinforcing bar (%)
RC	Reinforced concrete	D22 × 20, D16 × 8	1.65	0.36
SCP	Steel concrete using precast form	Deformed H-shape (100 × 100)	1.67*	0.36

*: (Real value for ratio of longitudinal steel) × (Ratio of deformed H-shape's yield strength to reinforcing bar's one) = 2.09% × 321/400 = 1.67%

験体の終局耐力がほぼ同じになるように定めた。すなわち SCP 試験体の軸方向鋼材量は、鋼材比に H 形鋼と鉄筋の降伏強度の比 (= 321 MPa/400 MPa = 0.8) を乗じた値が RC 試験体とほぼ等しくなるように設定した。一方、帯鉄筋量は、RC 試験体と SCP 試験体で同等とした。SCP 試験体で使用した H 形鋼は、曲げせん断試験に用いたものと同様に、機械加工により突起を設けたものである。突起高さ 2.5 mm、間隔 20 mm、有効断面積 14.8 cm² であった。

SCP 試験体は、外径 90 cm、厚さ 4 cm、高さ 87 cm の薄肉円筒形のプレキャスト型枠「SEED フォーム」を 3 段積み重ねて製作した。このプレキャスト型枠の製作に用いた基材モルタルの圧縮強度、曲げ強度は各々 59.7 MPa、8.8 MPa であった。プレキャスト型枠のコンクリート打設面には目荒し処理を施している。

荷重は、Fig. 7 に示すように、試験体の上部に設けたスタブをア

Table 5 Material properties of concretes

Specimen	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Bending strength (MPa)	Modulus of elastic (GPa)
RC	32.6	2.14	—	25.4
SCP	36.2	2.73	—	22.8
Precast form*	59.7	—	8.82	—

*: Mortar's strength

Table 6 Mechanical properties of steels

Steel	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)
D22 (SD345)	400	626	197
D16 (SD345)	390	620	193
D13 (SD345)	397	574	192
D10 (SD345)	395	530	194
Deformed H-shape (SS400)	321	454	204

クチュエータにより押し引きする静的な正負交番荷重方式で行った。荷重はまず、ひび割れ発生段階、ならびに主鋼材が許容応力度 (鉄筋: 176.4 MPa、鉄骨: 137.2 MPa) に達した段階で各々 1 サイクルの荷重を行った。その後、主鋼材が降伏した時点の荷重点水平変位 (降伏変位: δ_y) を基準に、 δ_y の整数倍の変位 (δ_y , $2\delta_y$, $3\delta_y$, $4\delta_y$, $5\delta_y$, ...) において各々 3 サイクルの荷重を行った。試験は、最大荷重が降伏荷重を下回るか、あるいは試験体の変位がアクチュエータのストロークの限界に達した段階で終了することとした。なお、試験体には油圧ジャッキを用いて 490 kN (面圧 0.86 MPa) の軸力を常時荷重した。計測は、試験体の変位、および鋼材 (主筋、H 形鋼、帯鉄筋) のひずみについて行った。

4.2.2 実験結果ならびに考察

Fig. 8 に荷重荷重と荷重点水平変位の関係を示す。図には終局時の耐荷力の計算値を併記した。SCP 試験体での計算は、曲げせん断試験の場合と同様、H 形鋼を断面積が等価な鉄筋に置換した RC 方式で行っている。曲げせん断試験の考察でも記載した通り、SCP 試験体は RC 方式で設計できると言える。

RC ならびに SCP 両試験体の荷重時の状況は、各々次のようであった。RC 試験体では、各サイクルのピーク荷重がサイクルを重ねる毎に徐々に増加していき、 $6\delta_y$ で最大 (534 kN) となった。この $6\delta_y$ の荷重サイクルにおいて正荷重・負荷荷いずれの場合も圧縮縁のコンクリートが剥離し主鉄筋が座屈する現象がみられた。そして $7\delta_y$ の荷重サイクルにおいて基部のコンクリートが完全に剥離し、繰り返し荷重における耐力の低下が明確になったので荷重を終了した。

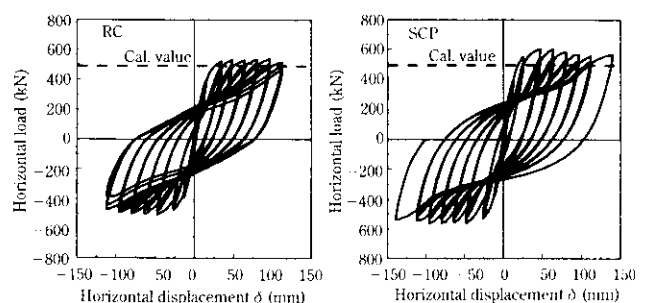


Fig. 8 Load-displacement relationship

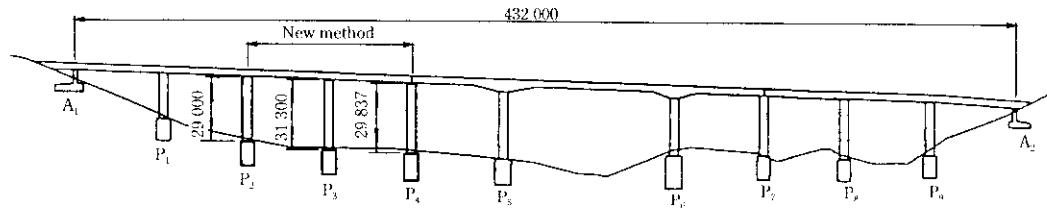


Fig. 10 General view of Hokkaido Longitudinal Expressway's Ohgishi Bridge

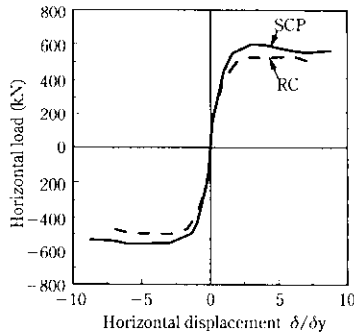


Fig. 9 Load-displacement relationship

一方、SCP 試験体の場合は、 $3\delta y$ の荷重サイクルにおいて耐力が最大 (599 kN) となった後、荷重のサイクルを重ねるにつれて耐力は緩やかに低下していった。しかしながら SCP 試験体は、アクチュエータのストロークが限界 (150 mm) に近づいた $9\delta y$ の荷重サイクルにおいても耐力が明確に低下する兆候は認められなかった。 $9\delta y$ の荷重サイクル終了後においても、プレキャスト型枠の基部付近では、耐力低下の要因となるような剝離や剥落はほとんど見られなかった。

Fig. 9 に荷重荷重と荷重点水平変位 (δy で無次元化した値) の関係の包絡線を、RC 試験体ならびに SCP 試験体の両者を併記して示す。この図からも、SCP 試験体は、RC 試験体に比べてじん性に富んだ挙動を示す耐震性に優れた構造であることがわかる。

5 鉄骨コンクリート複合構造橋脚の施工性評価

5.1 工事概要

鉄骨コンクリート複合構造橋脚「REED 工法」は、Fig. 10 に示す北海道縦貫自動車道大岸橋のうち、 $P_2 \sim P_4$ の 3 基に初めて適用されたり。これらの橋脚は高さが 30 m 程度で、外径 4.5 m、内径 3.1 m の円形中空断面である。主鋼材として 300 サイズの突起付 H 形鋼 ($318 \times 313 \times 15 \times 24$) が 14 本円周状に配置されている。

本工法の施工手順の概要を、本橋脚の施工において代表的な中空部を例に以下に列挙する (Fig. 11)。

- (1) 外部作業足場を必要な高さまで増設するとともに、内部作業足場 (移動式) を所定の高さに設置する。
- (2) 突起付 H 形鋼を建て込み、高力ボルト摩擦接合により既設の H 形鋼に接合する。
- (3) 橋脚脇に設置した地上の組立ヤードで、分割して現場へ搬入されたプレキャスト型枠「SEED フォーム」をリング状に組み立て、既設の外型枠の上に順次設置する。型枠の目地部には止水ゴムならびにエポキシ系の樹脂モルタルを配置した。なお、帯鉄筋は、地上ヤードにおいて型枠の内側に取り付けしておく。

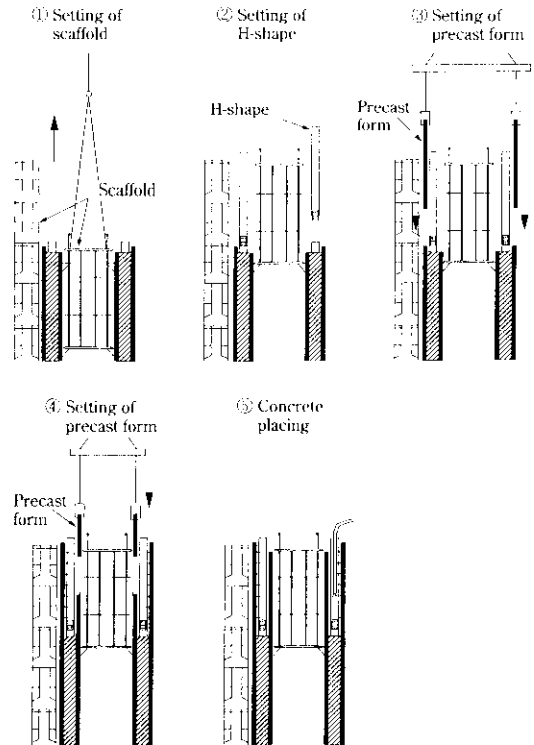


Fig. 11 Process of construction

- (4) 内型枠 (RC プレキャストリング) を既設の型枠の上に順次設置した後、コンクリートを打設する。
- (5) この後、(1)~(4) の作業を繰り返す。

本工法は、このような単純な作業の繰り返しで橋脚を構築するため、後述するように、省人化・急速施工化などの施工の合理化を達成することができた。また、高所での鉄筋組立作業・型枠脱型作業を省略することができ、安全性の向上も図ることができた。

5.2 鉄筋コンクリート橋脚との施工性比較

鉄骨コンクリート複合構造橋脚「REED 工法」の施工性を、在来工法で施工した P_8 と比較した。Fig. 12 に 1 日あたりに構築した橋脚高さ (施工速度) を、Fig. 13 に橋脚高さ 1 m を構築するのに要した作業人数 (施工労務歩掛り) を示す。これらの結果から、本工法は在来工法に比べて施工速度が 2.8 倍 (すなわち工期縮減率 64%)、施工労務歩掛りが 0.54 倍 (すなわち 46% の省人化率) であり、大幅な施工の合理化が達成できることがわかった。

6 結 語

橋脚の耐震性向上、橋脚施工の省力化や省人化、急速施工化といったニーズに答える工法として、「突起付 H 形鋼「ストライプ H」

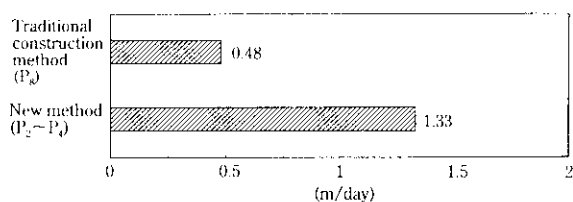


Fig. 12 Speed of construction

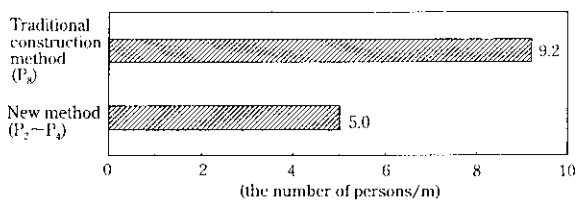


Fig. 13 Mobilization of labor

とプレキャスト埋設型枠「SEED フォーム」を用いた鉄骨コンクリート複合構造橋脚「REED 工法」を提案し、構造特性ならびに施工性を検討した結果、以下の諸点が明らかになった。

- (1) 梁曲げせん断試験から、突起付 H 形鋼を用いた鉄骨コンクリート複合構造が H 形鋼を断面積が等価な鉄筋に置換した RC 方式で設計できることが確認できた。

- (2) 梁曲げせん断試験において、突起付 H 形鋼を用いた鉄骨コンクリート試験体（プレキャスト型枠なし）に発生した最大ひび割れ幅は、ひび割れに対する配慮が必要な使用限界状態に相当する荷重レベルでは、RC 試験体とほぼ同等であった。

一方、これら 2 つの供試体よりも、この鉄骨コンクリート構造の表面にステンレスファイバーを混入したプレキャスト型枠「SEED フォーム」を配置した試験体（提案した構造）の方が、すべての荷重レベルにおいて最大ひび割れ幅が小さかった。

- (3) 水平交番荷重実験において、RC 試験体が 7 δy で終局に至ったのに対して、突起付 H 形鋼とプレキャスト型枠を用いた試験体は、アクチュエータのストロークが限界に近づいた 9 δy の荷重サイクルにおいても耐力が低下する兆候は認められなかった。すなわち、提案した工法が在来工法に比べてじん性に富んだ挙動を示し、耐震性に優れた構造であることが確認できた。

- (4) 提案した工法を高さ 30 m 程度の中空断面橋脚（大岸橋）に適用した事例において、本工法の施工性を検証した結果、在来工法と比較して、工期縮減率が 64%、省人化率が 46% であった。

最後に、本開発は前田建設工業（株）と共同で実施したものであることを付記し、あわせて本工法の開発と施工に多大なご協力とご指導を頂いた関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤政勝、石渡正夫、近藤伸治、山中栄輔：「条溝突起付 H 形鋼を用いた鉄骨コンクリート部材の構造特性とその応用」、川崎製鉄技報、12(1980)4、77-92
- 2) 例えば、三浦 尚、佐野 正、佐藤政勝：「異形鉄骨を用いた鉄骨コンクリート部材の性状に関する研究」、第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集、(1984)、601-604
- 3) 佐藤文則、原 夏生、今西秀公、篠田佳男：「ステンレスファイバーで補強した PCa 型枠の耐久性改善効果について」、土木学会第 50 回年次学術講演会、(1995)、120-121
- 4) 前田良文、盛 春雄、小林 良、上田達哉：「鉄骨コンクリート複合構造橋脚の設計と施工—北海道縦貫自動車道大岸橋—」、橋梁と基礎、(1996)10、16-22