

# 内面突起付きH形鋼「JグリップH<sup>®</sup>」の開発と SC（鋼・コンクリート）合成地中連壁への適用

## Development of New H-Section Steel Shapes with Inner Rib, J-grip H, and Its Application for the Steel-Concrete Composition Diaphragm Wall

恩田 邦彦 ONDA Kunihiko  
駒城 倫哉 KOJO Rinya  
青木 秀未 AOKI Hidemi

JFE スチール スチール研究所 土木・建築研究部 主任研究員（課長）  
JFE スチール 圧延・加工プロセス研究部 主任研究員（課長）  
JFE スチール 西日本製鉄所 倉敷条鋼部 主任部員（課長）

### 要旨

鋼・コンクリート合成構造用の鋼材として、フランジ内面に突起を有することでコンクリートとの付着性能を向上させたH形鋼「JグリップH<sup>®</sup>」を開発するとともに、これを地中連続壁の芯材として適用することにより、壁体の薄壁化や施工の省力化が可能となる新しいSC（鋼・コンクリート）合成地中連壁工法を開発した。本工法の開発にあたり、要素試験を通じてJグリップH<sup>®</sup>の突起とコンクリートの間における付着特性が、粘りに富んだ優れたものであることを実証するとともに、実大サイズの梁曲げ実験によりSC合成構造部材として優れた耐力、変形性能を有することを確認した。さらに、施工実証実験を行い良好な結果を得たことにより、本工法を実用化に繋げた。

### Abstract:

JFE Steel has developed new H-section steel shapes, J-grip H, which shows excellent adhesion performance with concrete materials, due to ribs formed inside flange during hot rolling and applied to the steel-concrete (SC) composition diaphragm walls as the wall body. J-grip H greatly contributes to cost reduction by thinning wall thickness of SC composition structure. This paper describes manufacturing methods, basic mechanical data of SC composition structure, such as adhesion and bending performance, and an example of actual application of J-grip H at the examination construction of the Nakanoshima new line.

### 1. はじめに

土木・建築構造において鋼材とコンクリートは互いを補完しあう関係にあり、鋼・コンクリート合成構造を形成することは、一般に構造合理化につながる事となる。

近年、建設分野ではコスト縮減につながる構造合理化への希求が特に強まっていることから、JFE スチールは、さらなる施工省力化やコスト競争力強化を目指し、合成構造用に特化した独自技術の鋼材であるJグリップH<sup>®</sup>（写真1）を開発した。さらに、都市部において年々、大深度化する地下鉄、地下道路などの地下工事に対応する工法として（株）大林組との共同開発によりJグリップH<sup>®</sup>を芯材としたSC（鋼・コンクリート）合成地中連壁工法（図1）を開発した。

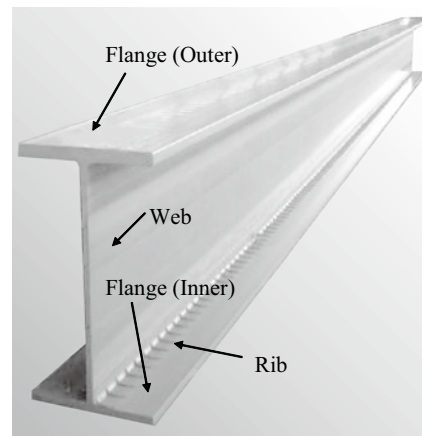


写真1 JグリップH<sup>®</sup>  
Photo 1 J-grip H

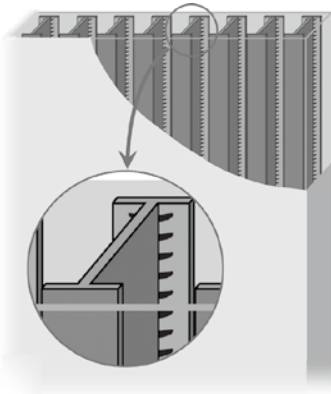


図 1 SC (鋼・コンクリート) 合成地中連壁  
Fig. 1 Steel-concrete composition diaphragm walls

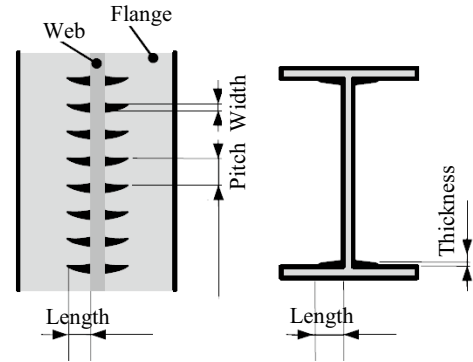


図 3 突起諸元の定義  
Fig. 3 Definition of the lib specifications

## 2. J グリップ H<sup>®</sup> の製造方法と形状

### 2.1 製造方法

J グリップ H<sup>®</sup> の突起の形成は圧延方式によるものであり、図 2 に示すように水平ロールのコーナー部から側面に溝を加工しておき、これを仕上ユニバーサル圧延で H 形鋼フランジ内面に転写させて突起を形成する。このとき、形成した突起を圧延の出側でつぶさないように、溝形状を湾曲型としている<sup>1)</sup>。この方式により、従来の溶接などによるビルトアップ方式で製造する場合に比べて、フランジ内面に突起を有する H 形鋼を高効率で製造することができる。

### 2.2 最適突起形状の選定

圧延により突起形成を行うことから、形成される突起のサイズ (図 3) には制約が生じる。ここでは突起サイズとして高さ 3 mm 以下、長さ 50 mm 以下、幅 12.5 mm 以上を想定し、この時の最適な突起ピッチについて検討した。

ここで、突起高さや長さは、大きいほど支圧面積が増え付着性状が向上すると想定される。よって、それぞれ最大の 3 mm、50 mm を最適目標形状とした。突起幅は、大きくなるとコンクリートの一面せん断面積が減少すること、また、12.5 mm であれば鋼材のせん断破壊は考えにくいいため、最

小値の 12.5 mm を最適目標形状とした。

突起ピッチについては、突起ピッチを 50, 100, 150 mm と変化させた付着実験を行った結果<sup>2)</sup>、最大付着力は突起ピッチが大きいものほど大きく、付着剛性については突起ピッチが小さいものほど大きいことが分かった。一方、合成構造部材として、最適な付着特性を、非線形 2 次元 FEM 解析 (有限要素法) により検討した結果<sup>3)</sup>、付着剛性の大きなケースが最も完全付着に近くなったことから、突起ピッチは 50 mm を最適目標形状とした。

### 2.3 製造サイズ

J グリップ H<sup>®</sup> の製造サイズを表 1 に示す。

表 1 J グリップ H<sup>®</sup> の製造サイズ  
Table 1 Size repertory of J-grip H

| (mm)           |               |                         |                            |
|----------------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Height ( $H$ ) | Width ( $B$ ) | Web thickness ( $t_1$ ) | Flange thickness ( $t_2$ ) |
| 610            | 300           | 12                      | 25                         |
| 616            | 302           | 14                      | 28                         |
| 624            | 304           | 16                      | 32                         |
| 632            | 307           | 19                      | 36                         |
| 640            | 307           | 19                      | 40                         |
| 690            | 300           | 13                      | 25                         |
| 696            | 301           | 14                      | 28                         |
| 704            | 303           | 16                      | 32                         |
| 712            | 306           | 19                      | 36                         |
| 720            | 306           | 19                      | 40                         |

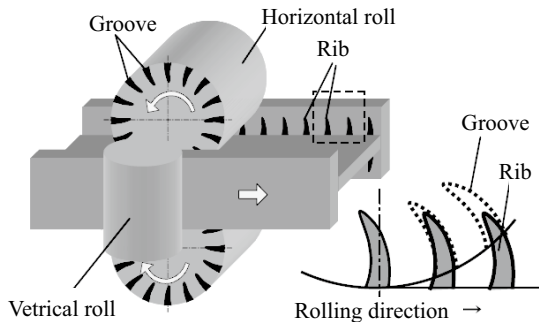
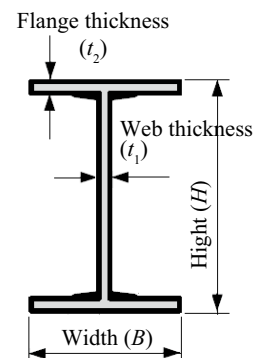


図 2 ユニバーサル圧延による突起形成方法  
Fig. 2 Formation method of ribs on H-section steel shape by universal finishing mill



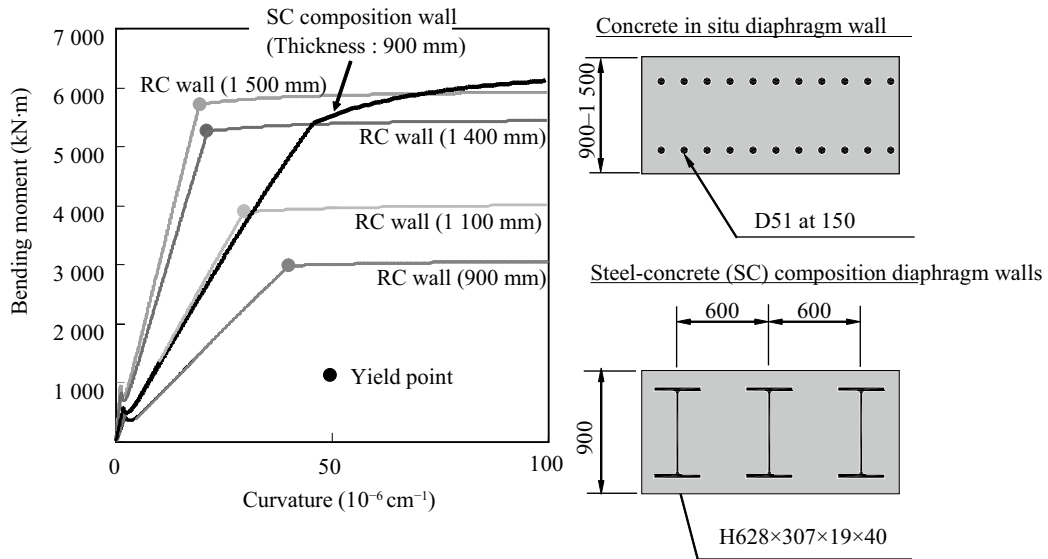


図 4 壁厚の低減効果  
Fig. 4 Effect of wall-thickness reduction

### 3. SC 合成地中連壁への適用

#### 3.1 地中連壁工法の現状と課題

近年、都市部における地下鉄、地下道路などの地下構造物の建設では大深度化する傾向にあり、それにもなって高耐力・高剛性でかつ経済的な地下壁体の必要性が高まっている。また、地上の用地確保も年々厳しくなっていることから、経済的でかつ省スペース化が可能な地下空間構築技術が求められている。

地中連壁工法は大深度でも高精度な掘削が可能であり、構造性能に優れた信頼性の高い地下壁構築工法として豊富な実績を有している。しかし、従来の RC (鉄筋コンクリート) 連壁では地下構造物の大深度化・大規模化にもなって厚壁化、過密配筋化の傾向にあり、建設用地の問題や施工性の面での問題が生じている。さらに、都市部では鉄筋籠製作などに必要な作業ヤードの確保も難しい場合が多い。

「SC 合成地中連壁工法」は、このような問題を解決するために開発したもので、薄い壁厚で高耐力・高剛性とすることが可能である。合成構造用の J グリップ H<sup>®</sup> を用いてコンクリートと一体化させた SC 合成構造の壁体としており、都市部での厳しい用地条件下での大規模掘削に適している。

#### 3.2 工法の特長

##### (1) 壁厚削減によるコストダウンの実現

図 4 に示すように、壁厚 900 mm の SC 合成地中連壁は壁厚 1400 ~ 1500 mm の RC 連壁と同等の抵抗モーメントを発揮することが可能で、剛性でも壁厚 1100 mm の RC 連壁と同等にできる。また、SC 構造として高い靱性を有しており、耐震性能が要求される本体構造としても適用できる。

地下壁が耐力で決まる場合は大幅な壁厚削減が可能であり、地下壁構築費としても 20 ~ 30% 程度のコストダウンが可能である。また、近接施工などで仮土留め壁の変位制限が厳しく地下壁が剛性で決まる場合は 20 cm 程度の壁厚削減でほぼ同程度のコストであるが、それ以外に壁厚が薄くなることにより用地費が削減されるなど、特に都市部の地下空間建設においてはメリットが大きい。また、遮水壁として連壁の根入れが長くなり、応力的に厚い壁が不要な区間が多い場合は壁厚削減の効果が大きいといえる。

##### (2) 内面突起によるコンクリートとの一体化

フランジ内面に突起を設けることによりウェブ反力により対面する両フランジ間の拘束効果が発揮され、最大強度以降も粘りのある付着性状を示す。また、付着特性は突起がコンクリートに引っかかる支圧型であるため、泥水中のコンクリート打設でも十分な耐力が得られる。一体化のための補強鉄筋が不要な上、鉄骨 1 本ずつの建込みも可能であるため、鉄筋籠製作などに必要な作業ヤードの問題が解消される。

### 4. 付着性能

本工法のような合成構造壁においては、コンクリートと鋼材の一体化がもっとも大きな問題となる。そこで、押し抜き実験<sup>4)</sup>を実施し、コンクリートとの付着性能評価を行った。

#### 4.1 実験方法

載荷方法は変位制御による押し抜き単調載荷とした。載荷方法の概要を図 5 に示す。J グリップ H<sup>®</sup> のフランジおよびウェブの下端 50 mm をあらかじめ箱抜きにしてコンク

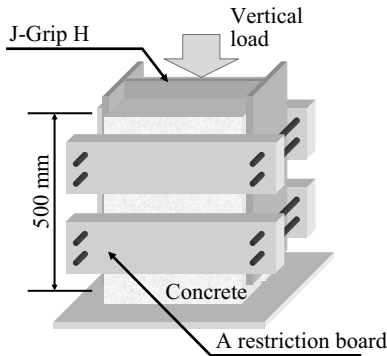


図 5 押し抜き荷重試験  
Fig. 5 Push out test

表 2 押し抜き荷重試験条件および結果  
Tabel 2 Test condition and result

| Case | Test condition               |  | Test result                                |   |                                     |
|------|------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|
|      | Rib shape                    | Concrete strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Load at the maximum, P <sub>max</sub> (kN) | Quantity of gap (at P <sub>max</sub> ) (mm) | Shear strength (N/mm <sup>2</sup> ) |
| 1    | Inner rib order direction    | 35.6                                   | 1 301                                      | 5.5   | 4.53                                |
| 2    |                              | 35.6                                   | 1 282                                      | 5.2   | 4.45                                |
| 3    |                              | 25.2                                   | 1 074                                      | 6.3   | 3.73                                |
| 4    |                              | 50.2                                   | 1 673                                      | 7.1   | 5.81                                |
| 5    | Inner rib opposite direction | 36.2                                   | 1 377                                      | 5.4   | 4.78                                |
| 6    | No rib                       | 29.0                                   | 54   | 1.4   | 0.19                                |

リートが J グリップ H<sup>®</sup> の内面とのみ接するように製作した試験体により、H 形鋼上端の荷重にともなう鋼材とコンクリートとの相対ずれ量を計測して、付着特性を評価した。本工法においては、対面する両フランジ間の拘束効果がある状態での付着性状が問題となるため、試験体は H 形鋼断面とした。また、地中連壁部材としたとき、H 形鋼の弱軸方向（連壁延長方向）にはコンクリートのひずみは微小となることから、当該方向は治具により変形を拘束し、境界条件を地中連壁部材と等価にした。なお、この拘束治具は付着力によって生じる変形を拘束するためのものであるため、初期緊張は与えていない。

コンクリート打設に際しては、実際の地下壁体構築が泥水中でのコンクリート打設となり、鋼材表面とコンクリートとの付着性が低下する可能性を考慮し、鋼材表面にあらかじめ剥離材を塗布した。実験条件および実験結果概要を表 2 に示す。

## 4.2 実験結果

### (1) J グリップ H<sup>®</sup> の付着特性

図 6 に示すように J グリップ H<sup>®</sup> の最大付着応力度は 4.4 ~ 4.8 N/mm<sup>2</sup> と突起なしの場合と比較して 20 倍以上の高い値を示した。さらに、最大値以降もウェブ

反力による拘束効果のため、付着力が脆性的に低下することはなかった。また、同様の実験条件にある Case-1 および Case-2 の付着特性は良く一致しており、良好な再現性があることが確認できた。荷重終了後の破壊面の状況を確認したところ、突起がコンクリート面上を上滑りしたような形跡はなく、おおむね、せん断破壊（突起先端部付近で一部局所圧壊）しており、突起とコンクリートとは良く噛み合い一体化していた。

### (2) 突起に対する加力方向の影響

三日月状の突起に対する荷重方向を変えた Case-2 と Case-3 の比較においても有意な差はなく、突起の向き

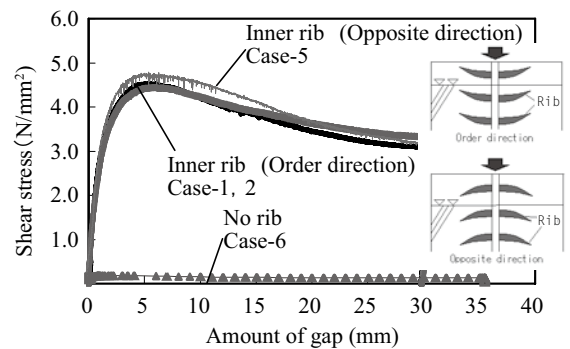


図 6 付着応力とズレ量との関係(突起形状および向き)  
Fig. 6 Relation of shear stress and gap (Rib shape and direction)

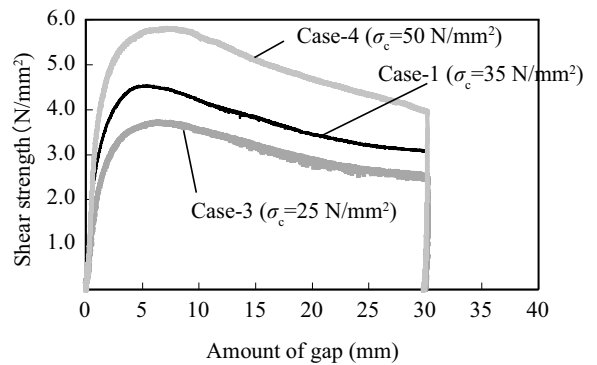


図 7 付着応力とズレ量との関係(コンクリート強度)  
Fig. 7 Relation of shear stress and gap (Concrete strength)

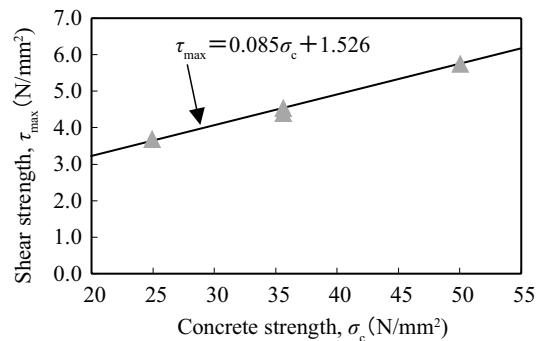


図 8 最大付着応力度とコンクリート強度との関係  
Fig. 8 Relation of shear strength and concrete strength

による付着特性の違いはないといえる。

(3) コンクリート強度の影響

図 7 よりコンクリート圧縮強度によらず、付着応力 - すべり変位関係の曲線形状は同様であり、付着性状に大きな差がないことが分かる。付着強度はコンクリート圧縮強度  $\sigma_c$  の増加とともに増加し、図 8 に示すように、 $\sigma_c$  と最大付着応力  $\tau_{max}$  の関係は 1 次式 ( $\tau_{max}=0.085\sigma_c + 1.526$ ) により、よく近似できることが示された。

5. SC 合成地中連壁の曲げ性能

実大サイズの梁曲げによる正負交番繰り返し载荷実験<sup>5)</sup>を行い、鋼・コンクリート合成部材としての評価を行った。

5.1 実験方法

図 9 に载荷方法の概要を示す。1 点载荷による正負交番繰り返し载荷とし、試験体は高さが 80 cm、幅は地中連壁工法における H 形鋼の標準的な配置ピッチとして 60 cm とした。支点から载荷点までの距離 (せん断スパン) は 2.5 m とした。なお、実際の地中連壁では H 形鋼が横方向に連続的に配置されコンクリートの横方向のひずみが拘束されることから、角型鋼管を用いた拘束治具で試験体を挟みこみ試験体の側方変形をできるだけ拘束するようにした。荷重の制御については、降伏変位  $\delta_y$  を基準として、 $10\delta_y$  に至るまで  $1\delta_y$ ,  $2\delta_y$ ,  $3\delta_y$ ,  $4\delta_y$ , ... と  $1\delta_y$  ずつ変位を大きくし、繰り返し回数は  $4\delta_y$  までは 1 ステップあたり 3 サイクルとし、それ以降は 1 ステップあたり 1 サイクルとした。 $10\delta_y$  以降は  $3\delta_y$  ピッチで変位を増加し、試験機の制約内で可能な限り継続した。なお、降伏変位  $\delta_y (= 11 \text{ mm})$  は、H 形鋼フランジ部 (载荷点引張り縁) が降伏応力度 (材料強度試験値) に達した時の载荷点変位とした。

5.2 実験結果

図 10 に载荷点位置での荷重 - 変位関係を示す。変位量  $13\delta_y (= 143 \text{ mm})$ 、回転角  $0.057 \text{ rad}$  まで载荷しても荷重低下は生じなかった。また、変形が進んだ後も明瞭な紡錘型

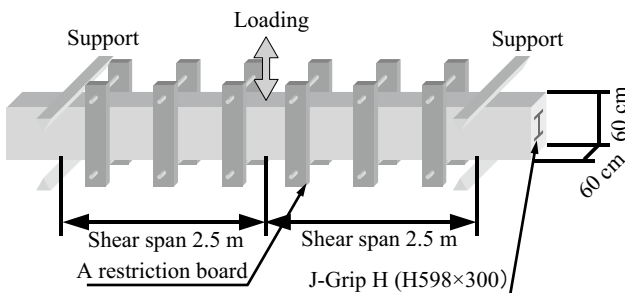


図 9 鋼・コンクリート合成部材の梁曲げ試験

Fig. 9 Bending test (Steel-concrete composition beam)

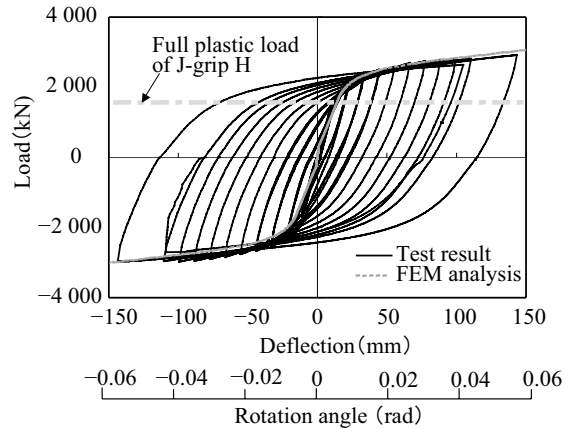


図 10 荷重 - 変位 (回転角) 関係

Fig. 10 Relation of load and deflection (Rotation angle)

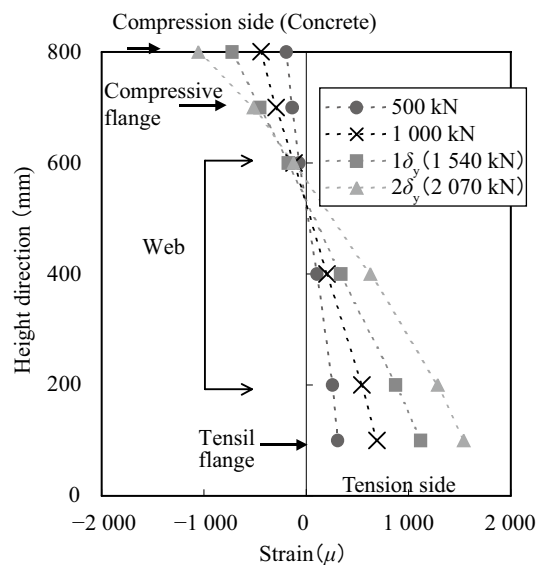


図 11 断面内ひずみ分布

Fig. 11 Strain distribution in the section direction

の载荷ループ形状を示し、優れたエネルギー吸収能を有していることが確認された。

先に行った付着実験で得られた鋼材フランジ～コンクリート間の付着特性を用いた FEM 解析値と実験結果の包絡線は、初期剛性、二次勾配および耐力ともに良く一致するとともに、H 形鋼単体の全塑性荷重を大きく上回っており、合成構造として期待通りの挙動を示した。

図 11 に载荷点から 1000 mm 位置における断面内の材軸方向のひずみ分布を示す。中立軸は試験体断面中央より圧縮縁側に位置しており、荷重レベルが大きくなるにつれて圧縮縁端方向に移行している。この結果からも合成の効果が確認できる。

6. 施工実証実験

SC 合成地中連壁は 2003 年に「中之島新線整備事業のうち開削工事影響調査」において施工実証工事を行い (写真



写真 2 施工状況

Photo 2 A view of construction



写真 3 コンクリート打設

Photo 3 Concrete pouring

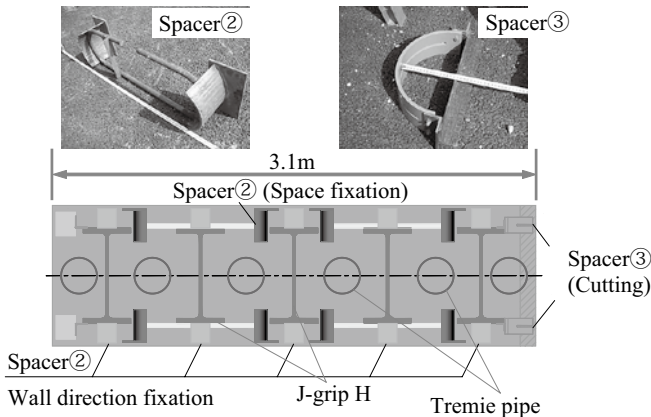


図 12 芯材（J グリップ H<sup>®</sup>）とスペーサーの配置

Fig. 12 The placement of J-grip H and spacer



写真 4 壁体の仕上り状況 (GL: -16.0 m)

Photo 4 Formed surface of diaphragm walls (GL: -16.0 m)

2)、芯材（J グリップ H<sup>®</sup>）の建込みやコンクリート打設などの施工性と連壁の造成状況を確認した<sup>6,7)</sup>。芯材（J グリップ H<sup>®</sup>）は図 12 に示すように、スペーサーにより壁厚方向と延長方向の位置を固定しながら 1 本ずつ建込みを行った。コンクリートは、各芯材間にトレミー管を挿入して打設した（写真 3）。写真 4 に示すとおり、連壁の造成状況は漏水もなく大変良好で、コンクリートが十分に回り込んでいることが確認された。

## 7. おわりに

J グリップ H<sup>®</sup> はコンクリートとの間で粘りのある付着性を示し、それを用いた SC 合成地中連壁は鋼・コンクリートの合成構造部材として優れた性能を有することを実験的に確認した。さらに、施工実証実験を行い良好な結果を得たことにより、本工法を実用化に繋げた。今後、実工事への適用事例を増やしつつ、コンクリート打設など、さらなる施工方法の改善を検討していきたい。

最後に本開発は、(株)大林組との共同研究であることを付記するとともに、関係各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 駒城倫哉ほか。“フランジ内面突起付 H 形鋼の開発”。日本鉄鋼協会 第 151 回春季講演大会。2006。
- 2) 辰見ターほか。“フランジ内面突起付き H 形鋼のコンクリートとの付着特性に関する基礎実験”。第 58 回土木学会年次学術講演会。2003。
- 3) 武田篤史ほか。“SC 合成地中連続壁の基礎的曲げ性状”。第 58 回土木学会年次学術講演会。2003。
- 4) 恩田邦彦ほか。“内面突起つき H 形鋼を用いた SC 合成地中連続壁工法の開発—その 1 付着特性に関する実験検討—”。第 59 回土木学会年次学術講演会。2004。
- 5) 山口昭ほか。“内面突起付き H 形鋼を用いた SC 合成地中連続壁工法の開発—その 2 梁曲げ試験結果—”。第 59 回土木学会年次学術講演会。2004。
- 6) 武田篤史ほか。“内面突起つき H 形鋼を用いた SC 合成地中連続壁工法の開発—その 3 設計法の提案—”。第 59 回土木学会年次学術講演会。2004。
- 7) 東野光男ほか。“SC 合成地中連続壁工法の開発”。土木建設技術シンポジウム。2005。



恩田 邦彦



駒城 倫哉



青木 秀未