

プレキャスト工法における鉄筋定着部の開発

平野 勝識 笹谷 輝勝

概 要

道路等で採用される中空高橋脚は、複数の橋脚で構成されるため、プレキャスト工法などの工業化工法が適していると言われている。しかし、実態としてはプレキャスト型枠の使用は安全性、工期短縮に優位性があるものの、コスト面で適用が見送られるケースが多い。そこで、本研究では、既往のSRC構造の高橋脚に適用するプレキャスト型枠のコストダウンを目的に、プレキャスト型枠に内蔵されるせん断補強筋の定着方法の合理化についての検討を行った。

本報告は、中空橋脚隅角部のせん断補強筋定着方法に関する合理化案の鉄筋定着の性能試験結果に関するものである。合理化案の目標性能としては、橋脚が地震時に被災し曲げひび割れが発生した場合を想定し、被災後もせん断補強筋の定着性能を十分に確保できることに設定した。本報告の確認実験としては、鉄筋に沿った模擬ひび割れを有するコンクリート試験体中の鉄筋を土木学会定着・継手指針に準拠した高応力繰返し載荷試験を行った。その結果、合理化案はひび割れ幅 1.7mm においても安定した定着性能を有することを確認した。これにより、SRC 中空高橋脚のプレキャスト化の普及を拡大におけるコスト的課題解決法の技術的整合性を確認することができた。

An experimental study on the anchoring strength of shear reinforcement for hollow concrete encased steel bridge columns

Abstract

Industrial construction methods such as pre-cast construction are suitable for the construction of hollow concrete encased steel (SRC) bridge column used in large numbers in road piers with almost same structural shapes and dimensions. Although this method is very safe and allows rapid construction, it is not used very often due to the high costs involved. This study was conducted to examine the cost-saving potential of the pre-cast concrete form construction method.

In this study, a series of experimental tests on anchorage of deformed bars are conducted. The deformed bars are supposed to be used for shear reinforcement of hollow concrete encased steel (SRC) bridge columns. Three types of anchorage method were tested: hook, hook with dowel bar and mechanical nut with small flange. As a result of high stress cyclic and static pull-out tests with nine test specimens, it is verified that crack width has a large effect on the anchoring strength of hooks.

キーワード: 中空 SRC 橋脚 定着 せん断
補強筋

§1. はじめに

近年、30m～100m クラスの RC 高橋脚（ハイピア）を対象とした合理化構造が開発されてきた。それらは、施工と構造の合理化を目的に、従来の軸方向鉄筋を H 形鋼ないしは鋼管に置き換え、型枠はプレキャストコンクリート型枠を使用する工法となっている。また、耐震性能を含む構造性能については、正負交番載荷試験や軸方向圧縮試験など様々な実験により検証がなされている。¹⁾

本研究では、プレキャスト型枠のコストダウンを目的に、図1に示す橋脚工法を対象に、せん断補強筋の定着方法の合理化の検討を行った。この工法は主筋の代替として、H形鋼に軸方向鉄筋を複数本配置し、細径異形PC鋼棒をスパイラル状に巻き付けた柱状の部材（以降、スパイラルカラムと称す）を適用したSRC構造である。スパイラルカラムの細径 PC 鋼棒は、主鋼材である H 形鋼および主筋の座屈防止の機能を果たしている。そのため、プレキャスト型枠にはせん断補強筋が内蔵されているが、従来の RC 構造のようにプレキャスト型枠間に中間帯鉄筋を配置する必要がないため、鋼材の組立てが簡便化され、大幅な工期短縮が可能となっている。

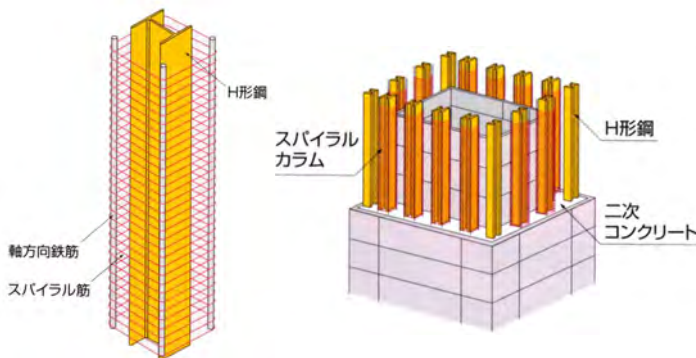


図1 SRC中空橋脚の概念¹⁾

§2. コストダウンのための構造詳細

図2に中空高橋脚の地震被災後のひび割れイメージを示す。高橋脚は地震被害が橋脚基部に発生し、曲げによるひび割れ幅が大きくなるのが特徴である。図3に本論文で対象とする工法の SRC 中空橋脚の断面例を示す。この工法は一般の RC 橋脚の主鋼材である異形棒鋼の代替として、H 形鋼を主体としたスパイラルカラムを主鋼材と採用している。スパイラルカラム間隔は、作業員が入って鋼材やプレキャスト型枠の接合作業ができる程度のスペースを確保している。

図4に従来の中空橋脚隅角部のせん断補強筋定着形態を示す。メタルフォームの場合、橋脚内側のせん断補

強筋を外側のひび割れ制御筋に標準フックで定着することが一般的である。また、プレキャスト型枠の場合、内蔵されたせん断補強筋は隅角部を貫通し、外側のプレキャスト型枠内に鉄筋定着具で定着を確保するような形態をとっている。また、内側のプレキャスト型枠の設置の際に、直交するせん断補強筋が障害とならないように、片側のせん断補強筋の接合は、機械式継手により行っている。更に外側のプレキャスト型枠に内蔵したせん断補強筋の定着具との接合のための機械式継手が必要となり、250mm 間隔で設置されるせん断補強筋を全て接合するために、相当数の機械式継手が必要となる。また、狭隘な作業空間での継手作業となり、合理化の必要な箇所としての要望が多く、高い改善効果が期待できる。

図5に示すのは定着方法の2形態の合理化案であり、内側のプレキャスト型枠から延伸したせん断補強筋を、定着方法①では定着具により、定着方法②では、180 度フックとダボ筋と組み合わせにより定着を図っている。これは、中空 SRC 橋脚の中間帯鉄筋の機能はスパイラルカラムの細径異形 PC 鋼棒が担っているため、プレキャスト型枠に内蔵されるせん断補強筋は、定着を確保できれば定着位置は比較的自由に設定にできるという本工法独特

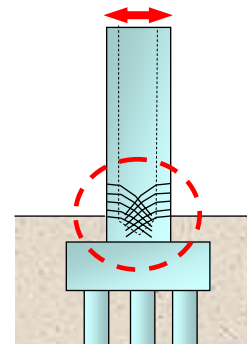


図2 中空高橋脚の地震被災後のひび割れイメージ

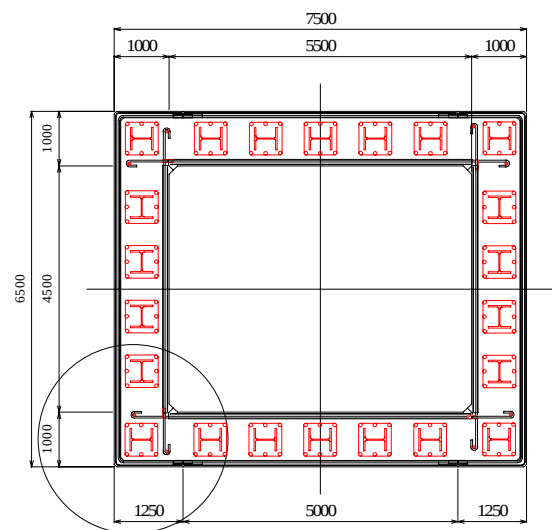
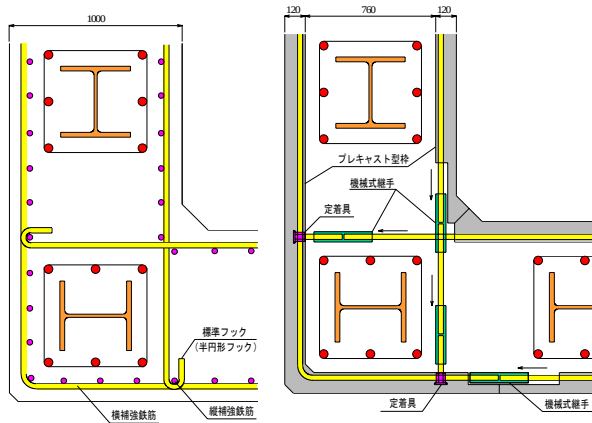


図3 中空 SRC 橋脚の断面例



(1)メタルフォームの場合 (2)プレキャスト型枠の場合

図4 せん断補強筋の従来の定着形態

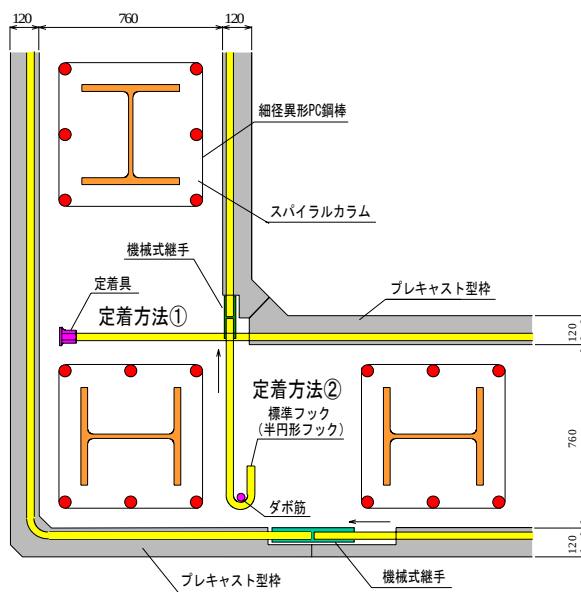


図5 定着方法の合理化案

の合理化案である。図5のせん断補強筋定着部の位置は、外側のせん断補強筋より内側に設置することで、かぶりコンクリートの剥落がせん断補強筋の定着性能に影響しないよう配慮している。

§3. 定着性能実験

3.1 実験概要

鉄筋定着部の試験は、土木学会の鉄筋定着・継手指針²⁾で定着体の性能評価基準ならびに性能評価方法が示されている。指針の評価方法では定着体を除く部分の鉄筋のみをアンボンドとしている。一方、本合理化案は一般的な定着方法の組み合わせで構成されているため、指針の評価方法では全てのケースで鉄筋の母材破断となり、定着方法による差異が不明確となるおそれがある。よって、

本研究では定着部に沿ったひび割れ発生時の定着性能を明らかとすることを念頭に実験を計画した。

3.2 定着方法

試験体の定着パターンを図6に示す。定着体は180°フック、ダボ筋、機械式定着具を組み合わせで構成している。180°フックの形状は土木学会コンクリート標準示方書に準拠して設定し、フックの先端直線部は4φ(=88mm)とした。試験体の形状は実際の中空橋脚を例として壁厚から内外のプレキャスト型枠の厚さを除いた場所打ち部の寸法の実大規模の試験体としている。定着部、ダボ筋の設置位置はスパイラルカラムとの位置関係を考慮して決定した。図6の①～④はひずみゲージの貼付位置を示している。機械式定着具Aおよび機械式定着具Bは、定着筋のねじふし鉄筋をねじ込み後に、端部孔からエポキシ樹脂を充填するタイプである。

3.3 試験体

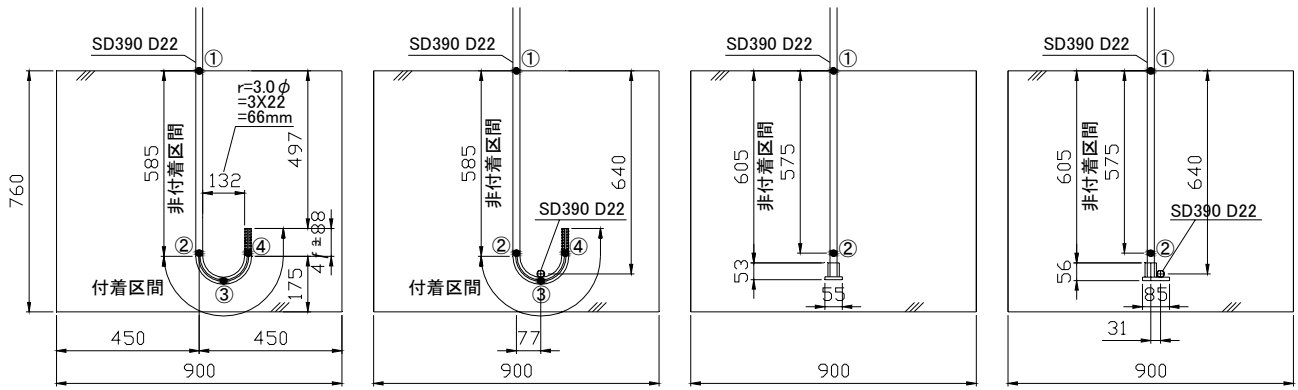
定着鉄筋に沿ったひび割れ面は、定着鉄筋位置でコンクリートを打継ぐことで模擬ひび割れ面とした。定着鉄筋とダボ筋にひずみゲージを貼付し、定着鉄筋のアンボンド区間は、鉄筋横ふし間はパラフィンを塗布充填した。定着鉄筋の抜け出し量は、定着筋の端部と180°フックの場合は折り曲げ開始位置とフック先端に細径ピアノ線を固定しインバー線を設置して計測した。コンクリートはまず下半分として定着鉄筋の鉄筋径の半分まで打設し、コンクリート硬化後、模擬ひび割れ面および定着鉄筋のアンボンド区間にグリースを塗布し縁切りを行った。その後、上半分のコンクリートを打設した。写真1、写真2に下半分のコンクリート打設後の定着部の状態として2例(180°フック+ダボ筋、機械式定着A)を示す。

3.4 使用材料

コンクリートは24-18-20-Nを使用し、2週間あけて2回打設した。コンクリートの強度試験は、上半、下半ごとに、実験シリーズの始めと終わりに実施した。圧縮強度は36~39N/mm²、割裂強度は3.2~3.5 N/mm²であった。鉄筋はSD390のD22のねじふし鉄筋であり、降伏強度459.9N/mm²、引張強さ652.8 N/mm²であった。機械式定着具は球状黒鉛鉄品であり、メーカー規格値は引張強さ600N/mm²以上、降伏点370 N/mm²である。

3.5 実験ケース

実験ケース一覧を表1に示す。前節の定着方法のパターンと定着鉄筋に沿ったひび割れ幅をパラメータと



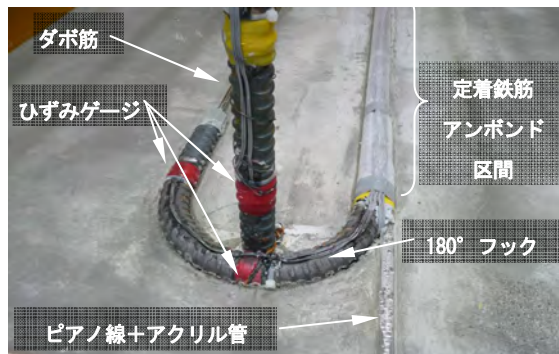
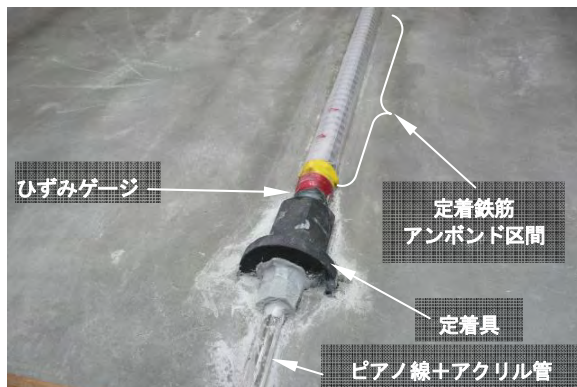
(1)180° フック

(2) 180° フック+ダボ筋

(3) 機械式定着 A

(4) 機械式定着 B+ダボ筋

図6 定着方法(模擬ひび割れ面の試験体断面)

写真1 下半コンクリート打設後の定着部の状態
(180° フック+ダボ筋)写真2 下半コンクリート打設後の定着部の状態
(機械式定着具 A)

して設定した。ひび割れ幅は、0mm、1mm、1.7mm、4mm の4種類とした。なお、1.7mm はダボ筋降伏相当であり、実験時に模擬ひび割れ面近傍のダボ筋のひずみをモニタリングして決定した。ダボ筋がないひび割れ幅を有するケース (No.3、No.9) は、ダボ筋降伏時相当のひび割れ幅として、事前の検討結果からひび割れ幅 1.7mm を目安にひび割れ開口を行った後に定着鉄筋の加力を行った。180° フックの加工方向は、鉄筋の横ふしがフックの内外となるように曲げ加工している。No.2、No.3 は、ふしの方向による影響を確認するために、ねじふし鉄のフラットな面がフックの内外となるように加工した。

表1 実験ケース一覧

No.	ダボ筋	せん断補強筋の定着部端部形状	初期ひび割れ幅 (mm)
1	なし	180°フック	0.0
2		180°フック	0.0
3		(ふし横面)	1.7
4	あり	180°フック	0.0
5			1.7
6			1.0
7			4.0
8	なし	機械式定着具B	1.7
9		機械式定着具A	1.7

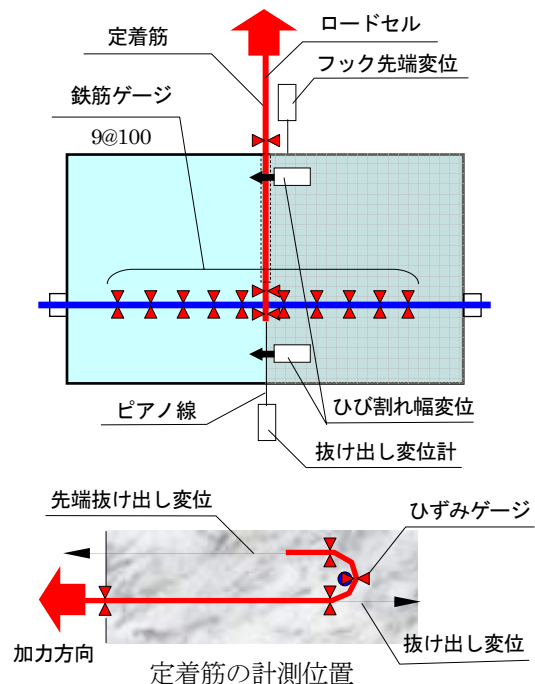


図7 計測位置

3.6 実験方法

試験体の計測位置を図7に示す。定着筋のひずみゲージは、図6に示す丸番号位置の2～4カ所とした。定着鉄筋の引抜き荷重、抜け出し変位を計測した。

加力前のひび割れ幅は、ひび割れ開口用のジャッキを用いて所定のひび割れ幅となるよう制御し固定した。定着筋の引き抜き時には、引き抜き過程で逐次変化するひび割れ幅を制御することは行っていない。ひび割れ幅がダボ筋降伏時に相当する 1.7mm は、ダボ筋中央部のひずみが、鉄筋の引張試験結果から得られる降伏時のひずみ $2,420 \times 10^{-6}$ を目標にひび割れの開口を行った。定着筋の引き抜き試験は、地震時の性能を確認するために全て高応力繰り返しとし、土木学会 鉄筋定着・継手指針²⁾に準拠した。加力サイクルを図8に示す。載荷荷重は鉄筋の規格降強度 f_{yn} (390N/mm^2) を基準として、上限応力 $0.95f_{yn}$ と下限応力 $0.02f_{yn}$ で 30 回繰り返した後、最大耐力確認まで引き抜きを行った。

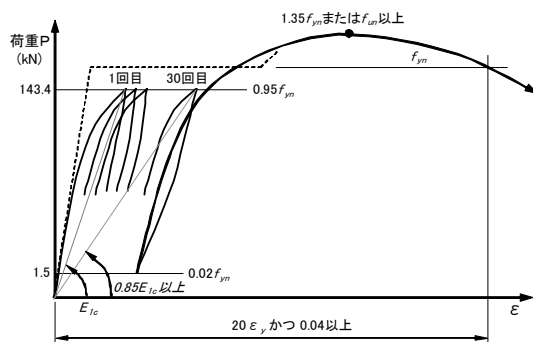


図8 加力サイクル²⁾

§4. 実験結果

4.1 実験結果一覧

実験結果一覧を表2に示す。表中には高応力繰り返し時の1回目と30回目の抜け出し変位量を示している。初期に設定したひび割れ幅は、定着筋の引き抜き過程で変動するため、最大耐力とともに、最大耐力時のひび割れ幅も示している。No.4～No.7 (180° フック+ダボ筋) で

は、ひび割れ幅 0mm の No.4 は耐力が No.1 より 5% 増加し、抜け出し量は 81% 減少した。これは、最大耐力時のひび割れ幅が厳密に同条件ではないが、ダボ筋がひび割れ開口の変動を抑制し定着性能が向上したと考えられる。No.5～7 (180° フック+ダボ筋、ひび割れ開口) では、ひび割れ幅の増大とともに最大耐力は対 No.1 で 18～26% 低下し、繰り返し時の変位は対 No.1 で 5～332% まで増加した。なお、実構造物では 180° フックは本実験では必ずしも発生ひび割れと平行に配筋されている場合だけではないため、今後、ひび割れに対して傾斜配置した場合、複数本の定着体に引張力が作用した場合など、更なる検討が必要であると考えられる。

4.2 荷重～変位関係

ひび割れ幅の影響の比較のため図9を示す。ひび割れ幅は加力過程で変動するものの、初期に設定したひび割れ幅に応じて剛性、伸び変位が大きくなる傾向にある。異形鉄筋の定着性能を考える上で、ひび割れ幅が最大耐力に与える影響が大きいことがわかる。

図10に機械式定着具とフック試験体の比較を示す。機械式定着具を使用した No.8、No.9 はひび割れ幅 1.7mm 前後で開始したにも関わらず、No.1 のフック試験体よりも抜け出し変位が著しく小さく、最大耐力は鉄筋母材の引張強さとはほぼ同じ値となった。特にダボ筋を併用した No.8 は最も小さい変位で最大耐力を示した。機械式定着具は鉄筋のふし高さよりも高い突起を有しており、ひび割れ幅が突起高さを超えるような状態までは、安定した構造性能を発揮するものと考えられる。

4.3 定着部の破壊状況

本実験では、模擬ひび割れ面で試験体コンクリートを分割可能であるため、試験後の定着部を損傷させることなく観察が可能であった。試験後の定着体の状況を写真

表2 実験結果一覧

No.	ダボ筋	せん断補強筋の定着部端部形状	初期ひび割れ幅 (mm)	高応力繰り返し 上限応力時の抜け出し量					最大耐力時			
				1回目 (mm)	30回目 (mm)	差分 (30-1回目) (mm)	差分比 (30-1回目) ー対基準 (No.1) ー	1回目加力のピーク時ひび割れ幅 (mm)	(kN)	比率 (ノ.1)	ひび割れ幅 (mm)	抜け出し量 (mm)
1	なし	180° フック	0.0	2.77	6.32	3.55	1.00	0.35	238.5	1.00	1.14	22.43
2		180° フック	0.0	4.03	8.51	4.48	1.26	0.87	159.5	0.67	1.08	9.29
3		(ふし横面)	1.7	規定荷重に到達不能 → 単調加力					137.6	0.58	1.56	24.49
4	あり	180° フック	0.0	1.10	1.78	0.68	0.19	0.16	250.4	1.05	0.59	7.35
5			1.7	14.30	22.06	7.76	2.19	2.22	177.3	0.74	2.38	24.28
6			1.0	3.14	6.85	3.71	1.05	1.26	176.2	0.74	1.44	14.41
7			4.0	35.10	46.89	11.79	3.32	4.65	196.6	0.82	4.92	60.07
8		機械式定着具B	1.7	1.13	1.82	0.69	0.19	2.02	254.0	1.06	2.21	2.62
9	なし	機械式定着具A	1.7	1.67	2.81	1.14	0.32	1.94	250.2	1.05	2.11	4.02

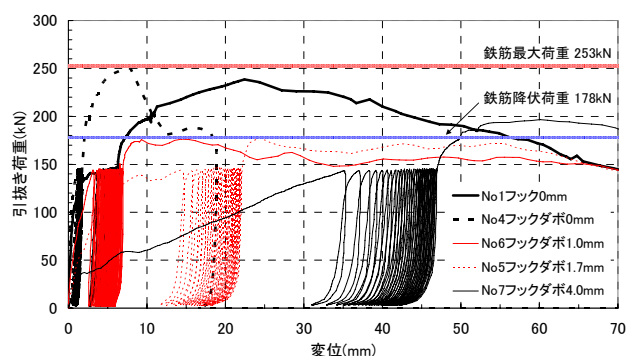


図9 荷重～変位関係(ひび割れ幅の影響)

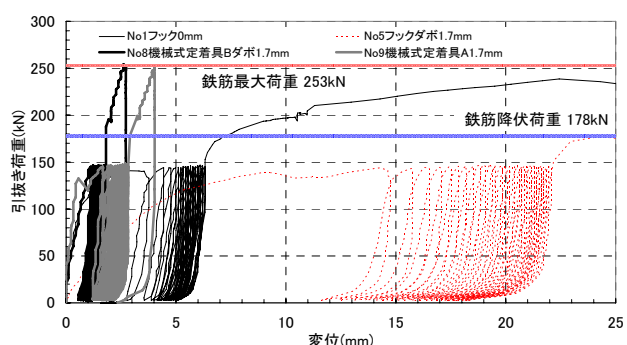
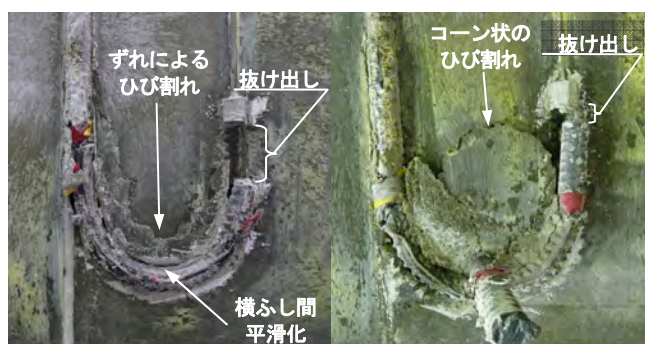


図10 荷重～変位関係(定着形態の影響)

写真3 No.1 試験体
(180° フック)写真4 No.6 試験体
(180° フック+ダボ筋)写真5 No.8 試験体
(機械式定着具 B+ダボ筋)写真6 No.9 試験体
(機械式定着具 A)

3～5に示す。No.1(180° フック、ひび割れ幅0mm)は、フックに沿ったコンクリートがずれたようなひび割れが認められる。フックの抜け出しによりフック内側表面は、横ふし間のモルタル分とともに黒く平滑になっていた。No.6

(180° フック+ダボ)は、ダボ筋を下端としフックに囲まれる円形のコンクリートがコーン状に破壊し、フック先端の抜け出しも確認できる。

No.8(機械式定着具 B+ダボ)は、ダボを中心としたコンクリートの破壊であり、突起と反対側のコンクリートは損傷が軽微であった。一方、No.9(機械式定着具 A)は、定着具の上方のコンクリートが近傍のみ破壊していた。

§5. 結論

SRC 中空橋脚のせん断補強筋定着部の合理化案を検討し、定着鉄筋に平行なひび割れを有する鉄筋定着体の引き抜き試験により以下のような結論が得られた。

- (1) 180° フックはひび割れの幅の増大に応じて耐力は低下し、抜け出し量も増加する。
- (2) 定着鉄筋と直交するダボ筋は、定着性能を著しく低下させる要因となるひび割れ幅の抑制に効果があり、定着性能向上が期待できる。
- (3) 機械式定着具を使用した定着体は、抜け出し量がほとんど発生しなかった。
- (4) ひび割れを考慮した本実験から、せん断補強筋の定着位置は外周のせん断補強筋との位置関係に依存しないため、本提案の定着方法は採用可能である。

なお、本研究はランデス(株)、東栄コンクリート工業(株)との共同研究であり、高知工科大学 島弘教授、(株)コムスエンジニアリング 土屋智史氏の指導を受けて実施された。関係各位に深謝する次第である。

参考文献

- 1) 3H 工法研究会:プレハブ・複合部材を用いた山岳部橋梁の下部工の設計・施工技術の開発に関する共同研究報告書—研究開発報告書—, 1999.4
- 2) 土木学会:鉄筋定着・継手指針[2007年版]2007.8
- 3) SRC 中空橋脚におけるせん断補強筋の定着に関する実験的検討, 土木学会 構造工学論文集 Vol.55A, pp1094～1101, 2009.03

ひとこと

今回検証した合理化案は、中空高橋脚工法のプレキャスト化普及のために必要となるコストダウンに有効な方法です。今後は採用実績を挙げ、更なる合理化の検討につなげてゆきたいと考えます。



平野 勝識