

(56) 新しいプレキャストPC橋脚の耐震性能に関する実験的研究

| | |
|----------------|-----------|
| 鹿島建設(株) 技術研究所 | ○新井 崇裕 |
| 同 上 | 正会員 日紫喜剛啓 |
| 鹿島建設(株) 土木設計本部 | 正会員 榎本 恵太 |
| 鹿島建設(株) 土木技術本部 | 竹下 一敏 |

1. はじめに

阪神大震災以降、橋脚の耐震設計が見直され、新設橋脚には従来よりも厳しい様々な耐震性能が要求されるようになった。それらの耐震要求性能をより合理的に満足しうる構造形式として、近年、場所打ち工法によるプレストレストコンクリート橋脚（以下、PC橋脚）についての研究が精力的に進められ、現在では、「プレストレストコンクリート橋脚の耐震設計ガイドライン（以下、ガイドライン）」¹⁾が整備されるまでに至っている。構造的に優れたPC橋脚ではあるが、その一方で実際の施工を考えた場合には、条件によっては、プレキャスト工法によるプレストレストコンクリート橋脚（以下、プレキャストPC橋脚）の方が、更なる合理化が図られることが試算される。しかし、プレキャストPC橋脚については、ガイドラインの中でも設計手法等は明記されておらず、耐震性能については十分な検討がなされていないのが現状であり、とくに、大地震時に損傷が集中する橋脚下端等のセグメント接合面（以下、接合面）の部位では、接合面の摩擦やせん断キー以外でせん断力を確実に伝達できる構造が必要と考えられる。そこで、筆者らは、まず、接合面に円筒鋼管を配置し、これのダボ作用によってせん断力を構造的に伝達できる新しい連結構造（図-1）を開発した²⁾。次に、開発した連結構造を適用した新しいプレキャストPC橋脚（図-2）の模型実験を行い、曲げ特性、耐震性能についての検討を行った。本稿では、模型実験の概要と検討結果について述べる。

2. 新しい連結構造の概要

新しい連結構造は、接合面に作用するせん断力を構造的に伝達することを目的としたものであり、図-1に示すように①外筒鋼管、②内筒鋼管、③PC鋼材及び④グラウトの各材料で構成される。構築手順は、まず、予め外筒鋼管を埋設して製作したセグメントを積み上げて、外筒鋼管の中に接合面を跨ぐように内筒鋼管を配置する。次に、内筒鋼管の中にPC鋼材を挿入・緊張した後に、外筒鋼管と内筒鋼管の空隙、内筒鋼管とPC鋼材の空隙のそれぞれにグラウトを行うことによる。なお、外筒鋼管はダクト及び局部応力の分散の目的で配置している。

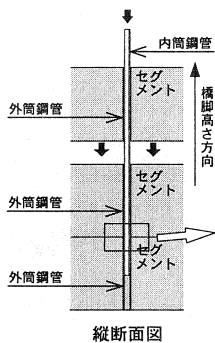


図-1 新しい連結構造の概念

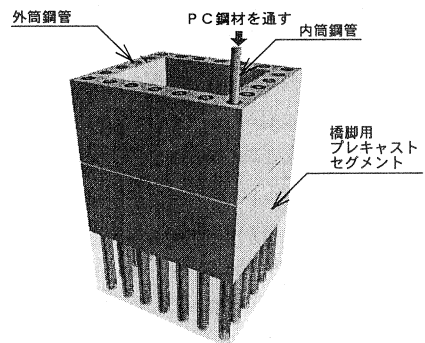
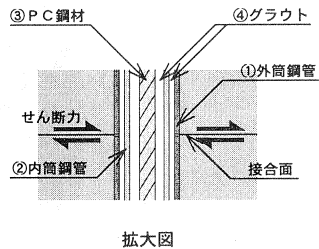


図-2 新しいプレキャストPC橋脚

3. 新しいプレキャストPC橋脚の曲げ特性，耐震性能

3. 1 実験概要

試験体の諸元と加力位置を図-3に，使用材料の試験結果を表-1にそれぞれ示す。

試験体は，「ガイドライン」¹⁾に準拠して設計した高さ15m程度の実橋脚を約1/5倍に縮尺した模型とした。試験体の設計及び製作にあたっての特記事項は図-3の脚注に示す。

実験は，油圧ジャッキにより上部工重量と橋脚重量に相当する一定軸力(2.0N/mm²)を作用させながら，押引用の油圧ジャッキを用いて，曲げせん断の静的漸増正負交番加力を行った。加力は，回転角(1/200rad)の整数倍で制御し，同じ回転角での繰返し加力は行わなかった。また，最大荷重の80%を下回った場合を部材としての終局と定義し，実験を終了した。実験状況を図-4に示す。

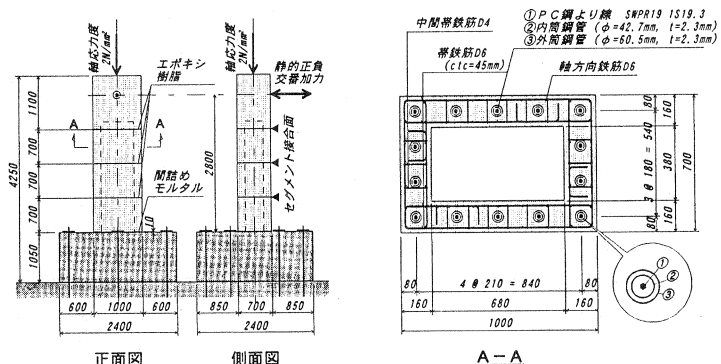
3. 2 実験結果と考察

(1) 曲げ特性

実験結果の水平荷重と水平変位の関係を図-5に，PC鋼より線の降伏時と終局時のひび割れ状況を図-6に，たわみ分布を図-7にそれぞれ示す。

プレキャストPC橋脚では，軸方向の引張鋼材が全てPC鋼材となるために，PC鋼材量がPC橋脚よりも増えること，また，復元力の観点からPC鋼材には0.5σ_{py}程度の緊張力を与えておく必要があること等の理由により，PC鋼材によって導入される軸応力度(プレストレストレベル)は一般的に高い値になる。今回試設計した実橋脚でも，プレストレスによる軸応力度は5.5N/mm²となり，死荷重による軸応力度2.0N/mm²との合計が7.5N/mm²の高い値となったために，脆性的な破壊性状を示すことが懸念されたが，橋脚全体の挙動としては，図-5に示すように，緩やかに耐力が低下するPC橋脚の挙動³⁾と同じような粘りのある挙動を示した。しかし，橋脚基部に着目すると，1/2H(H:断面高さ)程度の塑性ヒンジを形成するPC橋脚¹⁾とは異なり，図-6に示すようにプレキャストPC橋脚では終局時においても塑性ヒンジは形成されず，橋脚基部に回転が集中するロッキング挙動が見られた。このことは，図-7のたわみ分布からも見て取れる。

ロッキング挙動をする場合には，PC鋼材の破断が懸念されるが，最大荷重の80%まで耐力が低下した後も，PC鋼より線は降伏値には達しているものの，破断の兆候は見られなかった。これは，回転は橋脚基部に集中したものの，適度にPC鋼より線と橋脚躯体の付着が切れ，アンボンド構造のような挙動



- 【特記事項】
- ※1 曲げ破壊するように，セグメント内部には十分なせん断補強筋を配置してある。
 - ※2 内筋鋼管は柱頭部からフーチング下面まで貫通して配置してある。
 - ※3 外筋鋼管はセグメント接合面で断断されている。
 - ※4 PC鋼より線には0.44σ_{py}の緊張力を与えている。
 - ※5 コンクリートには5.5N/mm²のプレストレスを導入してある。
 - ※6 基部のセグメントとフーチングの間は，間詰めモルタルを配置してある。
 - ※7 セグメント間は，エポキシ樹脂により接着してある。
 - ※8 PC鋼より線と内筋鋼管，内筋鋼管と外筋鋼管の間はPCグラウトで充填してある。
 - ※9 柱部分とフーチング部分は同じコンクリートを使用している。

図-3 試験体の諸元と加力位置

表-1 材料試験結果

| 鋼材の種類 | 降伏点 (N/mm ²) | 引張強さ (N/mm ²) | 弾性係数 (kN/mm ²) | | |
|---------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 鉄筋 | S0345 D4 | 397 | 567 | 205 | |
| | S0345 D6 | 391 | 544 | 208 | |
| PC鋼より線 | SMPR19 19.3 | 1,762 | 1,894 | 190 | |
| | φ42.7 t=2.3 | 361 | 459 | 207 | |
| 鋼管 | φ42.7 t=2.3 | 347 | 442 | 204 | |
| | φ50.5 t=2.3 | 347 | 442 | 204 | |
| 材料の種類 | 材料 | 養生方法 | 圧縮強さ (N/mm ²) | 引張強さ (N/mm ²) | 圧縮弾性係数 (kN/mm ²) |
| | コンクリート | 28 | 標準 | 52.5 | 3.24 |
| 間詰めモルタル | 51 | 現場 | 54.6 | 3.30 | 34.7 |
| PCグラウト | 37 | 現場 | 50.3 | — | 23.3 |
| エポキシ樹脂 | 21 | 現場 | 61.0 | — | 14.2 |
| | 36 | 現場 | 70.8 | 22.1 | — |

※ 各材料試験結果は実験時における値を示す。



図-4 実験状況

をしたためと考えられる。このことは、加力側面に曲げひび割れが殆ど発生していないことから推察される (図-6)。

また、接合面間において、滑りやずれは認められず、図-6のひび割れ状況からも見て取れるように、内筒鋼管の軸方向に沿った縦ひび割れが生じており、内筒鋼管 (新しい連結構造) がせん断伝達に有効に機能していることがわかる。

(2) 解析

解析は、材料の力学的な非線形性と部材の幾何学的な非線形性を考慮できるファイバーモデル⁴⁾により、下記の条件で行った。

- ・材料モデルは道路橋示方書⁵⁾に準拠した。
- ・材料の諸元は、表-1に示す材料試験結果の値を用いた。
- ・軸方向の引張鋼材はPC鋼より線のみとした。
- ・PC鋼より線の付着はないものとした。

解析結果を図-5に示す。解析結果は実験結果より多少低めの履歴であるが、十分な精度でシミュレーションできており、本解析手法は、プレキャストPC橋脚の解析に有効と考えられる。なお、解析結果が多少低めになっているのは、内筒鋼管が耐力へ寄与していることによるものと推察され、解析の精度を上げるためには内筒鋼管の曲げ耐力への寄与を解析モデルに組み込む必要があると考えられる。

(3) 耐震性能

新しいプレキャストPC橋脚の耐震性能について評価するために、耐震性能を評価する際の一つの指標となる変形性能、残留変位、累積吸収エネルギーを取り上げる。評価にあたり、「ガイドライン」¹⁾に示されている22体の試験結果を引用する。22体の内訳は、導入プレストレス (0 (=RC), 2, 4, 8N/mm²), 断面形状 (中実, 中空), 施工方法 (場所打ち, プレキャスト), 付着の有無 (ボンド, アンボンド) 等の要因が主なパラメータとなっており、その中に、プレキャスト (中実・ボンド) が2体、アンボンド (中実・場所打ち) の2体が含まれている。今回の実験と「ガイドライン」¹⁾に示されている実験では、試験体諸元が異なるため、評価対象項目は無次元化する必要がある。そこで、変形性能と残留変位については、回転角で表示することにより、また、累積吸収エネルギーについては、累積吸収エネルギーを最大荷重と最大変位で除して正規化することによりそれぞれ無次元化した。終局時における変形性能回転角、残留回転角、正規化累積吸収エネルギーをそれぞれ図-8、図-9、図-10に示す。また、各図の横軸は各項目に与える影響の大きい導入プレストレスとした。

図-8より、変形性能については、新しいプレキャストPC橋脚 (■印) が最も大きな変形性能回転角を示しており、十分な変形性能を有しているといえる。また、「ガイドライン」¹⁾のプレキャスト (◆印) も大きな変形性能回転角となっており、一般的にプレキャスト部材は大きな変形性能を有する傾向にあるといえる。

図-9より、残留変位については、導入プレストレスが大きくなるに従って、残留回転角は小さくなる傾向が見て取れる。新しいプレキャストPC橋脚 (■印) は、同じ導入プレストレスの2N/mm²と比較すれば小さい値を示しており、残留変位の少ない復元力特性の優れた構造であることを示している。また、導入プ

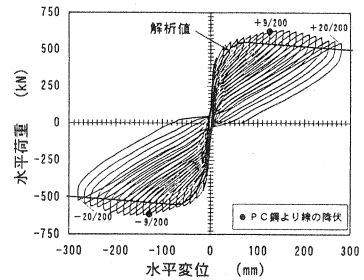


図-5 水平荷重と水平変位の関係

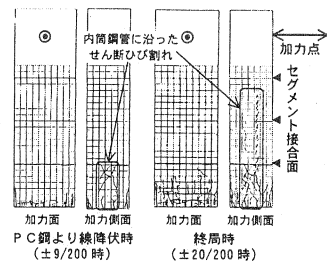


図-6 ひび割れ状況

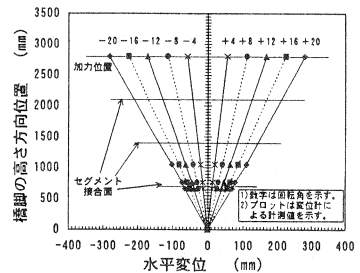


図-7 たわみ分布

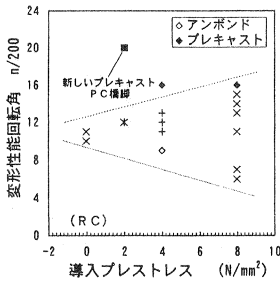


図-8 変形性能

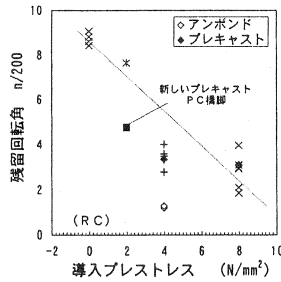


図-9 残留変位

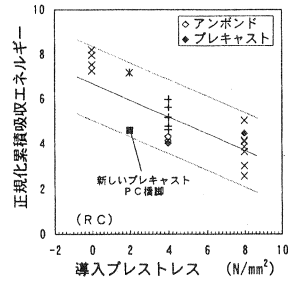


図-10 累積吸収エネルギー

レストレスが 4N/mm^2 のプレキャスト (◆印) とアンボンド (◇印) を比較すると、アンボンドの方が小さい残留回転角であり、残留変位についてはプレキャスト部材よりアンボンド構造の方が効果の大きいことがわかる。

図-10 より、累積吸収エネルギーについては、導入プレストレスが大きくなるに従って、正規化累積吸収エネルギーは小さくなる傾向が見て取れる。新しいプレキャストPC橋脚 (■印) は若干小さい値を示しているが、耐震性能的に特に問題にならない範囲内に入っているといえる。

以上の3点より、新しいプレキャストPC橋脚の耐震性能について評価を行えば、それぞれの特徴はあるものの、RC橋脚やPC橋脚と比べて全般的に特に遜色はなく、良好な耐震性能を示しているといえる。

4. おわりに

接合面に円筒鋼管を配置し、これのダボ作用によってせん断力を構造的に伝達できる新しい連結構造を開発し、その連結構造を適用した新しいプレキャストPC橋脚の模型実験を行って、曲げ特性、耐震性能について検討した結果、それぞれ良好な性状を示した。以下に、得られた知見をまとめる。

- (1) 曲げ特性は、特に脆性的な破壊性状を示すことなく緩やかに耐力が低下する粘りのある挙動、また、回転(損傷)が基部に集中したロッキング挙動を示す。
- (2) 内筒鋼管(新しい連結構造)は接合面のせん断伝達に有効に機能する。
- (3) 材料の力学的な非線形性と部材の幾何学的な非線形性を考慮できるファイバーモデルを用いた解析手法により、本構造を十分な精度でシミュレーションできる。
- (4) 耐震性能(変形性能、残留変位、累積吸収エネルギー)は、その特徴はあるものの、RC橋脚やPC橋脚に比べて全般的に特に遜色はない。

参考文献

- 1) (社)プレストレストコンクリート技術協会;プレストレストコンクリート橋脚の耐震設計ガイドライン, 1999.11
- 2) 新井他;新しいプレキャストPC橋脚の開発, 鹿島 技術研究所年報, Vol. 48, pp.25-30, 2000.9
- 3) 新井, 日紫喜, 池田;プレストレストコンクリート橋脚の耐震性能に関する実験的検討, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, pp.1126-1127, 1998.10
- 4) 沖見, 右近;複合非線形フレーム解析システムの開発, 土木学会誌 技術最前線, Vol. 80, pp.14-17, 1995.1
- 5) (社)日本道路協会;道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 1996.12