

# 拡底式アンカーを用いて補強した壁式橋脚の 耐震性能に関する実験的検討

山 本 晴 人                      小 原 孝 之  
 鈴 木 顕 彰                      三 島 徹 也

## 要 旨

壁式橋脚の耐震補強方法は既設橋脚を貫通するようにPC鋼棒（中間貫通PC鋼棒）を設置することが一般的であるが、既設橋脚を穿孔してPC鋼棒を貫通させる作業は非常に煩雑であり、建設コスト及び工期の両面で大きな負担となる。そこで、中間貫通PC鋼棒と同様の効果を有するものとして、既設橋脚に途中定着する拡底式アンカーを用いる方法を提案する。また、水中橋脚に対しては、そのような補強方法と水中耐震補強工法（PRISM工法）を併用することでさらなる施工の合理化が期待できる。

そこで本研究は、拡底式アンカーを壁式橋脚のじん性補強部材として適用した場合の耐震補強効果について実験的検討を行った。その結果、本補強方法によって中間貫通PC鋼棒と同様のじん性補強効果が期待できることが認められた。

キーワード 拡底式アンカー／中間貫通PC鋼棒／壁式橋脚／じん性補強／正負交番載荷実験

## 目 次

- |             |                         |
|-------------|-------------------------|
| 1. はじめに     | 4. 拡底式アンカーで補強した壁式橋脚試験体の |
| 2. 壁式橋脚への適応 | 正負交番載荷実験                |
| 3. 拡底式アンカーの | 5. 拡底式アンカーの実施工例         |
| 引抜き実験       | 6. まとめ                  |

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON SEISMIC PROPERTIES OF REINFORCED WALL TYPE PIER WITH ANCHOR

Haruhito YAMAMOTO Takayuki OBARA  
 Akira SUZUKI Tetsuya MISHIMA

### Synopsis:

It is common to install the intermediate steel bar by penetrating it into the pier in seismic reinforcement method of a wall type bridge pier. However, since the penetrating work in this method is very complicated and expensive, authors have developed a new seismic reinforcement method using lower spread type anchor instead of penetrating work. Moreover to an underwater bridge pier, the further rationalization of the construction is expectable by using together such a reinforcement method and an underwater seismic reinforcement method without drying up, known as PRISM Method.

For this, in this study, we experimentally examine ductility properties of reinforced wall type pier using this anchor. As a result, seismic efficiency of this reinforcement method is experimentally verified as similar to that of penetrating method.

## 1. 研究の背景

躯体が水中に位置する RC 橋脚の耐震補強工事では、橋脚周辺を仮設構造物により締め切ってドライアップするのが一般的である。しかし、ドライアップにかかる建設コストが高額であるため、仮設にかかるコストの縮減が命題となっている。そこで、筆者らはこれまでに、作業の大半を水中で行い、ドライアップを不要とする水中耐震補強工法の開発を行ってきた<sup>1,2)</sup>。本工法は、橋脚躯体の周囲にプレキャスト埋設型枠（以降、プレキャスト型枠と称す）を巻立ててせん断・じん性補強を行う補強法を応用し、躯体との間隙には水中不分離性モルタルを充填して一体化を図るものである。本プレキャスト型枠は設計上必要な補強材である帯鉄筋または鋼板を内包することができる。なお、曲げ補強は、プレキャスト型枠と既設橋脚躯体の間隙に鉄筋を配置させることにより行う。本工法の概要を図-1に示す。

## 2. 拡底式アンカーの壁式橋脚への適応

壁式橋脚の耐震補強方法としては、図-2に示すように帯鉄筋または鋼板（横拘束筋）の他に、既設橋脚を貫通するように PC 鋼棒（中間貫通 PC 鋼棒）を設置することが一般的である。これは、補強部の軸方向鉄筋の座屈や帯鉄筋のはらみだしを防止してコンクリートの拘束効果を向上させることを目的として設置するものであり、文献 3)において、耐震補強事例として示されている。しかし、既設橋脚を穿孔して PC 鋼棒を貫通させる作業は非常に煩雑で、建設コスト及び工期の両面で大きな負担となり、合理的な工法の開発が求められてきた。

そこで、一般にひび割れたコンクリートにおいても比較的高い定着力を有するとされる拡底式アンカーを用い、

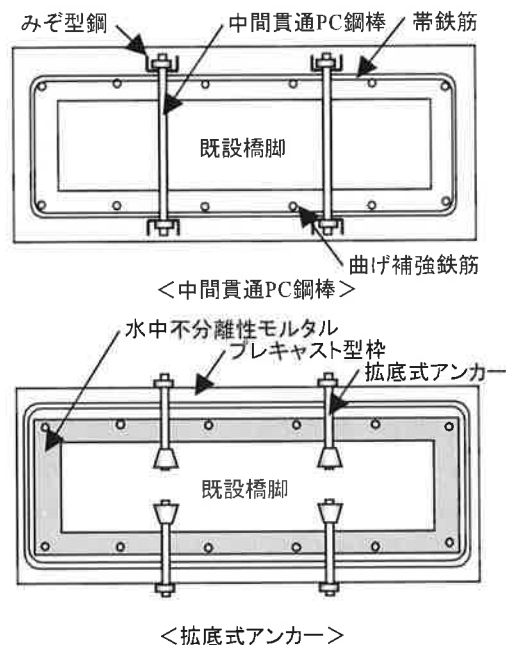


図-2 中間貫通 PC 鋼棒及び拡底式アンカーの施工概念

①コアボーリング孔に ③スリーブを用いて ④施工完了  
拡底式アンカー挿入 定着部の拡底

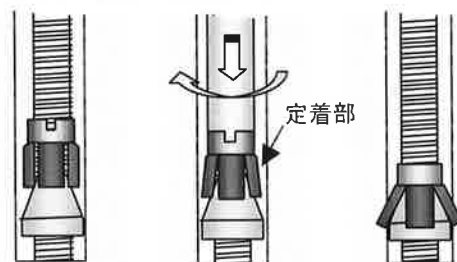


図-3 拡底式アンカーの定着機構と施工手順

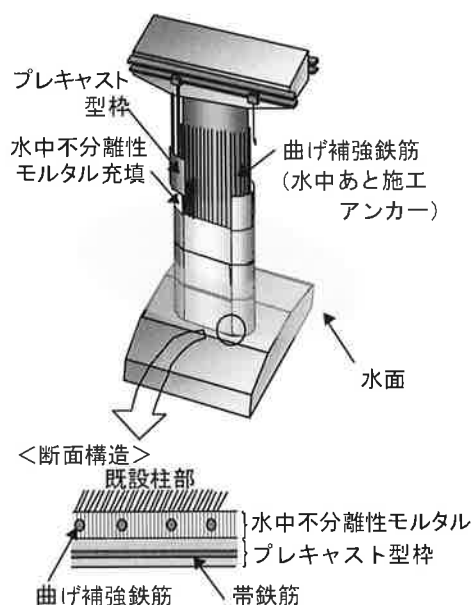


図-1 水中耐震補強工法の概要

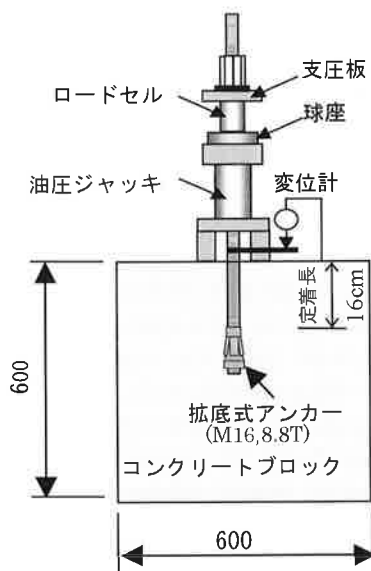


図-4 拡底式アンカーの引抜き実験方法

表－2 試験体の仕様及び実験結果一覧

|    | アンカー仕様 | コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 最大荷重 (kN) | 最大応力 (N/mm <sup>2</sup> ) | 最大荷重時の抜け出し変位 (mm) | 初期ひび割れ幅 (mm) | ピーク時ひび割れ幅 (mm) | 破壊モード  |
|----|--------|-------------------------------|-----------|---------------------------|-------------------|--------------|----------------|--------|
| T1 | 8.8T   | 42                            | 111       | 704                       | 14.7              | 1.02         | 1.13           | 定着部の破壊 |
| T2 |        |                               | 151       | 963                       | 36.0              | 1.00         | 1.26           |        |
| T3 |        |                               | 105       | 670                       | 14.1              | 1.32         | 1.46           |        |
| T4 |        |                               | 106       | 673                       | 29.1              | 1.22         | 1.46           |        |

中間貫通 PC 鋼棒と同様な効果を期待できると考えた。この場合、橋脚が地震動による繰り返し水平荷重を受けた際に、じん性補強区間にせん断ひび割れ及び曲げひび割れが発生する。従って、拡底式アンカーを中間貫通 PC 鋼棒と同様の効果を期待するものとして用いる場合には、ひび割れがアンカー施工位置を通過する場合でも引抜き耐力が低下しないこと、すなわち母材降伏することが要求性能の 1 つであると考えられる。

また文献 3) では、変形性能を算出する場合、PC 鋼棒の設計強度は降伏値の 2/3 としている。従って、拡底式アンカーで補強した橋脚の変形性の評価を従来工法と同様に行うためには、柱試験体の正負交番荷重実験において、降伏値の 2/3 程度のひずみが拡底式アンカーに発生していることを確認する必要がある。

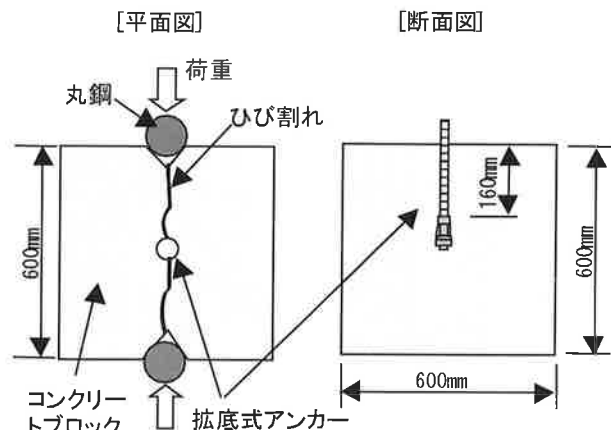
そこで本研究は、まず、拡底式アンカーの基礎性状の把握を目的として、予めアンカー施工位置にひび割れを導入した状態からの引抜き実験を行った。次に、拡底式アンカーと中間貫通 PC 鋼棒で補強した壁式橋脚試験体の正負交番荷重実験を行い、補強効果の比較を行った。なお、本実験で用いた拡底式アンカーは、図－3 に示すように、アンカー孔を穿孔した後、アンカーの切削刃付きの拡底部（以降、定着部と称す）自体がコンクリートにアンダーカット部を形成させ、そのまま機械的に定着する、自穿孔タイプのものとした。

### 3. 拡底式アンカーの引抜き実験

#### 3.1 実験概要

拡底式アンカーの引抜き実験は、センターホールジャッキを用いて、図－4 に示すような方法により行った。

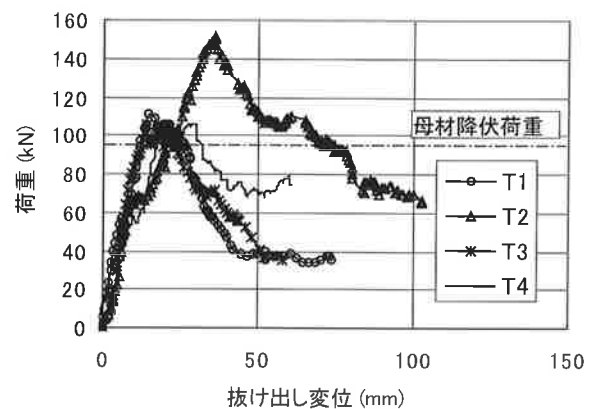
ひび割れの導入方法は、まず拡底式アンカーをコンクリートブロック中央に施工し、次に図－5 に示すように、コンクリートブロック側面に設けた断面欠損部から丸鋼を通して荷重を加えて、拡底式アンカーの施工位置にひび割れを導入した。このとき、ひび割れ幅は 1mm 程度（径の 1/15 程度）になるよう加力調整を行った。実験には以上のような方法で製作したひび割れ導入試験体を 4 体供した。また、計測は引抜き荷重、コンクリートブロック天端近傍のアンカーの抜け出し変位、及びゲージによるひび割れ幅について行った。なお、本実験で使用した拡底式アンカーの母材は 8.8T、コンクリートブロックの強度は 42N/mm<sup>2</sup> である。拡底式アンカーの母材の機械的



図－5 ひび割れ導入方法

表－1 拡底式アンカー母材の機械的性質

| アンカー母材の種類 | 降伏荷重 (kN) | 破断荷重 (kN) | 降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> ) | 引張応力 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|-----------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| 8.8T, M16 | 98        | 123       | 640                       | 800                       |



図－6 引抜き性状

性質を表－1 に、コンクリートブロックの機械的性質を表－2 に示す。

#### 3.2 実験結果

実験結果の一覧を表－2 に示す。実験に供した 4 体の試験体は全て拡底式アンカー先端の定着部の破壊により終局を迎えたが、いずれの試験体とも、最大荷重は 8.8T の規格値における母材降伏荷重以上であった。

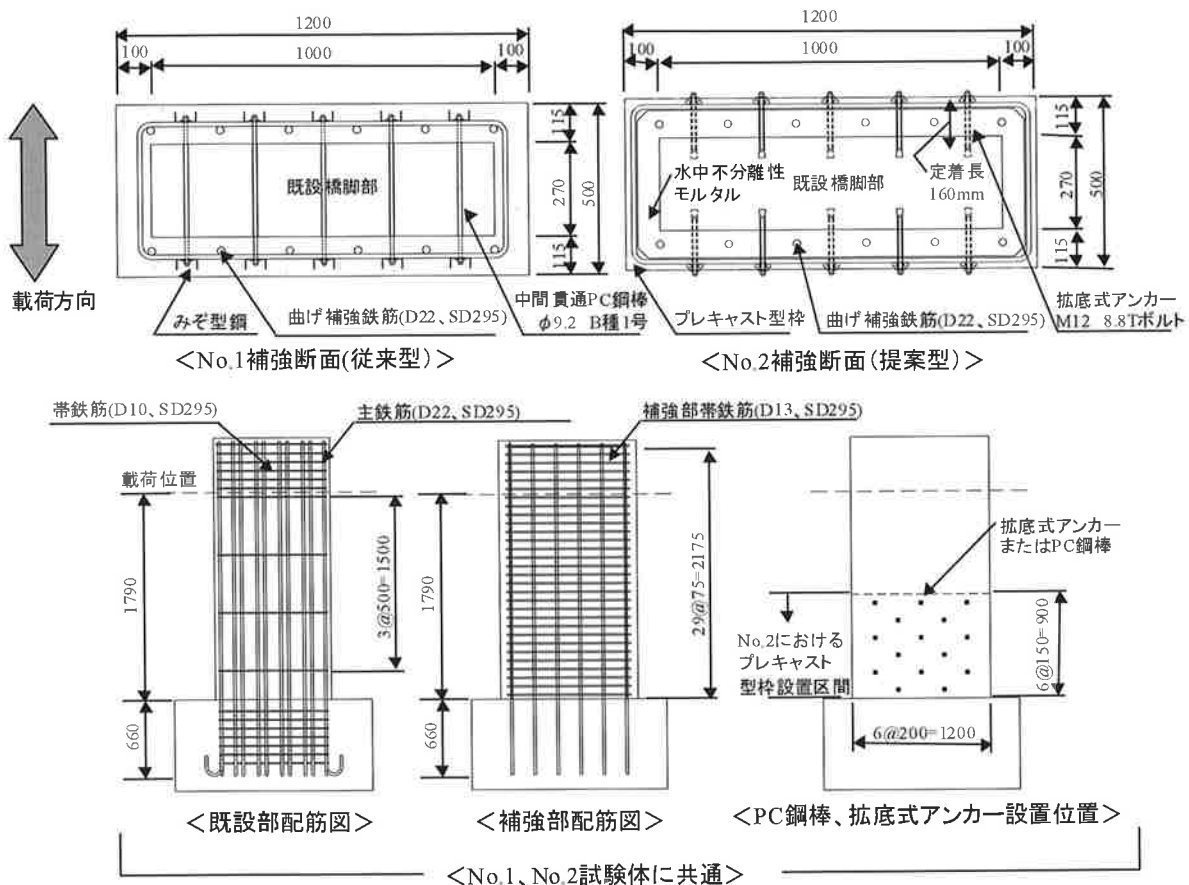


図-7 試験体の概要

表-3 材料強度一覧

| 試験体  | 軸応力度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 既設<br>柱部<br>f <sub>c</sub> | 補強部            |        |        |                |     |
|------|------------------------------|----------------------------|----------------|--------|--------|----------------|-----|
|      |                              |                            | f <sub>c</sub> |        |        | f <sub>y</sub> |     |
|      |                              |                            | モルタル           | プレキャスト | コンクリート | 曲げ補強鉄筋         | 帯鉄筋 |
| No.1 | 2.0                          | 34                         | —              | —      | 41     | 385            | 359 |
| No.2 | 2.0                          | 31                         | 46             | 65     | —      | 385            | 359 |

f<sub>c</sub>:コンクリート強度(N/mm<sup>2</sup>), f<sub>y</sub>:鉄筋, PC鋼棒及びアンカー降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

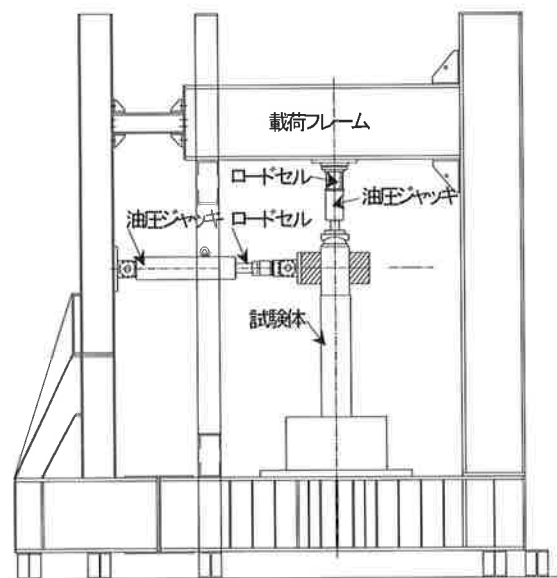


図-8 正負交番載荷実験装置

引抜き性状を図-6に示す。この図より、各試験体間で若干のばらつきは認められるが、いずれの試験体においてもアンカー母材の降伏荷重以上の引き抜き耐力が得られており、幅1mm程度(アンカー径の1/15程度)であればアンカーの施工位置にひび割れが発生した場合でも、前述の要求性能を満たすことが認められた。

#### 4. 拡底式アンカーで補強した壁式橋脚試験体の正負交番載荷実験

##### 4.1 実験概要

##### (1) 試験体

拡底式アンカーで補強した壁式橋脚の耐震性能を検討することを目的として、おおよそ1/10スケールの橋脚モデル試験体を2体用いて、正負交番載荷実験を行った。試験体の概要を図-7、材料強度一覧を表-3に示す。試験体はまず、既存橋脚(断面270×1000)を2体製作し、

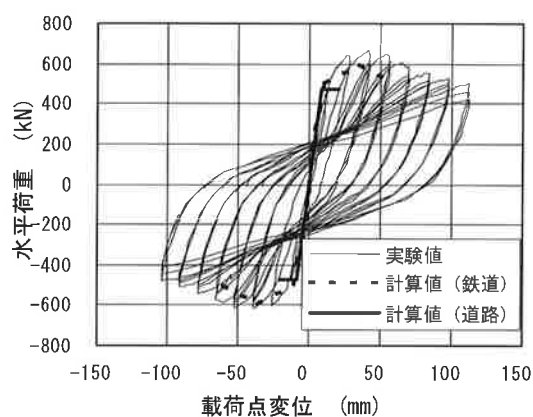


図-9 No.1 の水平荷重-載荷点変位関係

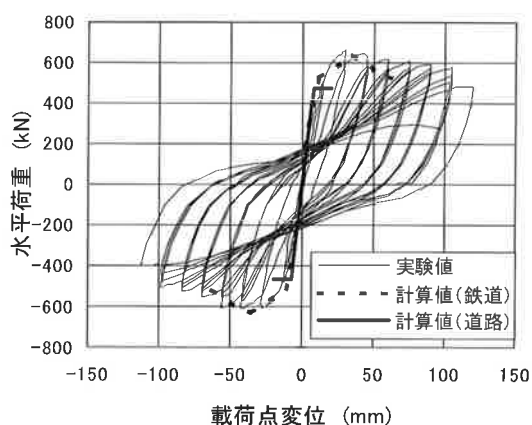


図-10 NO.2 の水平荷重-載荷点変位関係

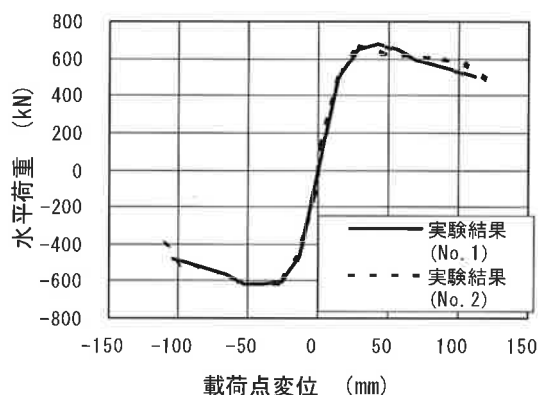


図-11 No.1 と No.2 の包絡線の比較

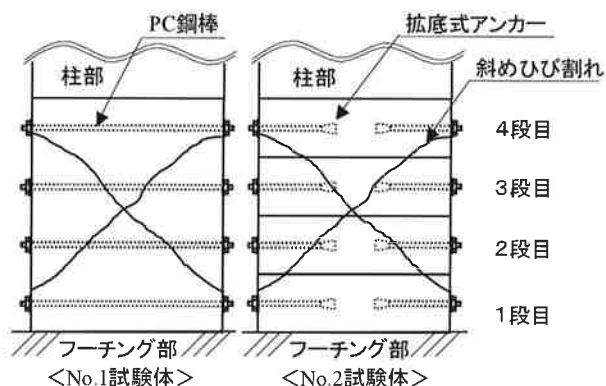


図-12 斜めひび割れ発生状況

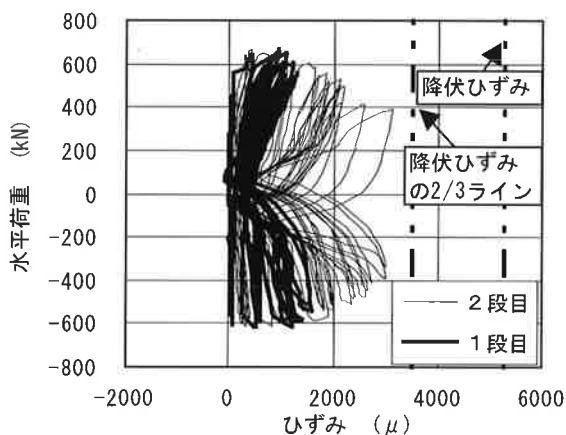


図-13 PC 鋼棒のひずみ性状 (No.1 試験体)

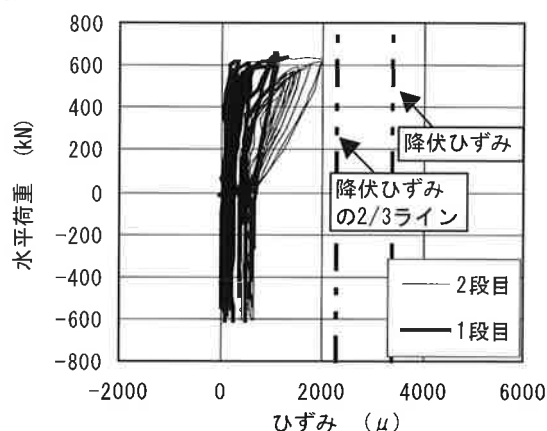


図-14 拡底式アンカーのひずみ性状 (No.2 試験体)

これを 2 種類の補強方法によって補強したものを実験に供した。このとき補強方法としては、従来工法として、中間貫通 PC 鋼棒を用いたコンクリート巻立て工法（曲げ補強鉄筋を建て込み、型枠を設置してからコンクリートを打設する方法であり、気中施工を前提とする耐震補強方法）(No.1)と、提案型の工法として、拡底式アンカーとプレキャスト型枠を用いた水中耐震補強方法(No.2)を用いている。このとき拡底式アンカーには、既製品としての規格トルク値として、ひずみに換算して  $2000 \times 10^{-6}$  程度を導入した。

曲げ補強鉄筋 (D22) の定着方法は水中硬化性エポキ

シ樹脂を用いて行い、その定着長さは、過去に行った定着力の検討結果から、補強筋径の 30 倍 ( $22 \times 30 = 660 \text{ mm}$ ) とした。このとき、孔内に水を充填した状態で樹脂の注入及び補強鉄筋の配置を行い、アンカーの水中施工を模擬した。

No.2 試験体のプレキャスト型枠は帯鉄筋が内包されたタイプのものを用い、その帯鉄筋の仕様は No.1 試験体と全く同様のものとした。

## (2)実験方法

実験は図-8 に示すような載荷装置を用いて行った。

表-4 実験結果一覧

| 試験体   |         | 降伏荷重<br>$P_y$<br>(kN) | 降伏変位<br>$\delta_y$<br>(mm) | 最大荷重<br>$P_{max}$<br>(kN) | 終局変位<br>$\delta_u$<br>(mm) | 靱性率<br>$\mu$ |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| No. 1 | 実験値     | 494                   | 13.8                       | 669                       | 112                        | 8.1          |
|       | 計算値(鉄道) | 504                   | 11.5                       | 601                       | 59                         | 5.2          |
|       | 計算値(道路) | 478                   | 8.0                        | 478                       | 20                         | 2.5          |
| No. 2 | 実験値     | 522                   | 15.0                       | 661                       | 113                        | 7.5          |
|       | 計算値(鉄道) | 519                   | 10.8                       | 637                       | 62                         | 5.7          |
|       | 計算値(道路) | 478                   | 8.0                        | 478                       | 20.3                       | 2.5          |

表-5 2 段目の PC 鋼棒及び拡底式アンカーの降伏ひずみに対する最大ひずみの割合

| 試験体  | 降伏ひずみ*<br>$\varepsilon_1(\mu)$ | 降伏強度<br>$f_y(N/mm^2)$ | 実験時最大値                   |                     | $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ | $\sigma/f_y$ |
|------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------|
|      |                                |                       | ひずみ $\varepsilon_2(\mu)$ | 応力 $\sigma(N/mm^2)$ |                               |              |
| No.1 | 5259                           | 1046                  | 3131                     | 631                 | 1.8/3                         | 1.8/3        |
| No.2 | 3404                           | 534                   | 1952                     | 335                 | 1.7/3                         | 1.9/3        |

\* 永久ひずみが0.2%となる応力時のひずみ

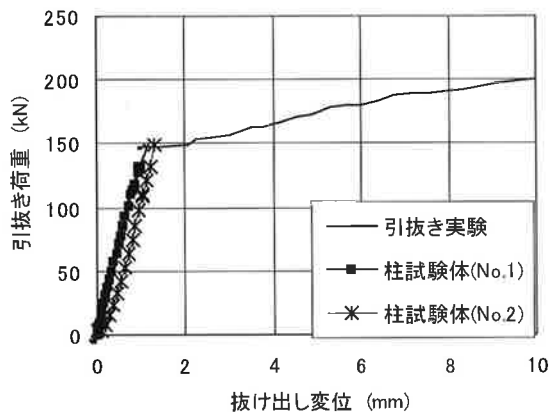


図-15 引抜き荷重と抜け出し変位の関係

軸力は 1200kN ( $2.0N/mm^2$ ) で一定とし、水平荷重は  $2\delta_y$  ( $\delta_y$  は軸方向鉄筋が降伏するときの変位) まで繰り返し回数を 1 回とし、 $3\delta_y$  以降は 3 回として正負交番に載荷させた。なお、実験は  $1\delta_y$  時の曲げ耐力を下回った時点で終了した。

## 4.2 実験結果

### (1) 水平荷重-載荷点変位関係

試験体は、No.1, No.2 試験体とも  $1\sim 2\delta_y$  でせん断ひび割れが確認されたが、その後も耐力を保持し続け、最後は曲げ補強鉄筋の座屈及び破断により耐力が低下し、終局に至った。

実験結果の一覧を表-4 に、水平荷重-載荷点変位関係の履歴を図-9 及び図-10 に示す。これらには、鉄道構造物設計標準耐震設計<sup>4)</sup>、及び道路橋示方書耐震設計編<sup>5)</sup>の計算方法に準拠して求めた計算値も示している。また No.1 と No.2 試験体の包絡線の比較を図-11 に示す。図-9 及び図-10 より、No.1, No.2 試験体は、じん性

率、最大荷重について計算値と同等以上の耐力を有していることが認められる。また図-11 より、No.1 と No.2 試験体はほぼ同等な包絡線となることが認められる。従って、途中定着となる拡底式アンカーによっても、貫通 PC 鋼棒を用いた場合と同様な十分なじん性補強効果が期待できると考えられる。

また、No.1 試験体及び No.2 試験体の曲げ耐力は計算値と同等以上の耐力を有していることより、水中硬化性樹脂を用いた曲げ補強鉄筋の定着が十分であることを裏付けている。

### (2) 斜めひび割れ発生状況と PC 鋼棒及び拡底式アンカーのひずみ性状

実験終了後にプレキャスト型枠を除去して内部コンクリートを観察した時の斜めひび割れ発生状況の模式図を図-12 に示す。また、柱基部から 1 段目及び 2 段目に設置した PC 鋼棒及び拡底式アンカーの代表的なひずみ性状を図-13, 14 に示す。この図に示すように PC 鋼棒及び拡底式アンカーのひずみは 1 段目より 2 段目の方が大きなひずみが発生していることが認められる。これは、図-12 に示すように斜めひび割れが 2 断面の PC 鋼棒及び拡底式アンカーと交差するように発生していることから、せん断ひび割れの開口によってひずみが増加したためと推定される。

2 段目に設置した PC 鋼棒及び拡底式アンカーの代表的な最大ひずみ及び最大応力と降伏ひずみ及び降伏強度の関係を表-5 に示す。PC 鋼棒及び拡底式アンカーのひずみ量は設置個所によりばらつきが認められ、PC 鋼棒では  $2000\sim 3000\times 10^{-6}$ 、拡底式アンカーでは  $1000\sim 2000\times 10^{-6}$  のひずみが最大値として認められたが、降伏ひずみに対する割合は表-5 で示すように両者とも 3 分の 2 程度で同等であった。従って、拡底式アンカーは中間貫

通 PC 鋼棒と同様の補強効果が期待でき、拡底式アンカーで補強した橋脚の変形性能は既往の評価式<sup>3),4),5)</sup>により安全側に評価できることがわかった。

### (3)水中あと施工アンカーの定着特性

柱基部の目開き量より算出した抜け出し量と、水中あと施工アンカーの柱基部のひずみから算出した引抜き耐力の関係を図-15に示す。同図には、過去の実験において、本アンカーと同様な仕様及び定着方法により定着されたアンカーを垂直に引き抜いて十分な定着が確認された実験結果も示す。なお本検討は、鉄筋が降伏する前の弾性時の検討である。この図より、正負交番載荷時の水中あと施工アンカーには曲げが作用しているにもかかわらず、垂直に引抜いた実験の結果と同様な性状が認められた。従って、水中あと施工アンカーは曲げ補強として有効に寄与することが認められた。

## 5. 拡底式アンカーの実施工例

最後に、上記の実験に基づいた拡底式アンカーを用いた壁式橋脚の耐震補強方法の実施工例として、沖縄波の上作業所での拡底式アンカーの一連の施工状況を写真-1～7に示す。

### ①写真-1について

対象橋脚は、沖縄開発庁沖縄総合事務曲管轄の波の上橋 P1 橋脚。断面は 8m×2.3m の小判型断面で、橋脚高さは約 4.5m の壁式橋脚。

### ②写真-2について

使用した拡底式アンカーの仕様は M16, 8.8t で、自穿孔タイプのアンカー。拡底部先端に取り付けられた超硬ビットが、拡底部の回転及び打撃の作用によってコンクリートにアンダーカットを作成し、そのまま機械的に定着する。

### ③写真-3について

プレキャスト型枠は厚さ 150mm、高さは標準タイプで 900mm。プレキャスト型枠には拡底式アンカーを設置するためのアンカー孔が予め設けられている。なお、拡底式アンカーは、コンクリート打設時にはプレキャスト型枠の変位を制御する役割も担っている。

### ④写真-4について

拡底式アンカーの施工状況を示す。水中部の削孔には、コンプレッサーを原動力とするルートハンマーを使用している。なお、気中部の削孔には、電動ハンマードリルを使用する。

### ⑤写真-5について

拡底式アンカーの挿入状況を示す。挿入後はスリーブを用いて打撃と回転力によって定着部を確定させ、専用のナットでプレキャスト型枠に固定させる。

### ⑥写真-6について

拡底式アンカーの設置状況を示す。本橋脚では、全部で 96 本の拡底式アンカーを施工した。

### ⑦写真-7について

プレキャスト型枠に設けられたアンカー孔の処理状況を示す。処理材料としては水中硬化性のエポキシパテを用いた。アンカー孔を完全に塞ぐことにより、コンクリート打設時の止水効果と、拡底式アンカーの防食を期待している。

## 6. まとめ

以上の検討から次に示すような結論が得られた。

(1)引抜き実験の結果より、拡底式アンカーはアンカーの施工位置に幅 1mm 程度（径の 1/15 程度）までのひび割れが生じた場合でも規格母材降伏耐力以上の引き抜き耐力を保持することがわかった。

(2)正負交番載荷実験の結果より、既設橋脚に途中定着する拡底式アンカーは中間貫通 PC 鋼棒と同等のじん補強効果を有しており、既往の耐震設計手法により、耐力及び変形性能を評価できることがわかった。

## 参考文献

- 1)小原孝之ほか：水中で施工する樹脂接着系あと施工アンカーの耐荷性状に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.3，pp.343～348，1999
- 2)小原孝之ほか：RC 橋脚の水中耐震補強工法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.1429～1434，2000
- 3)（社）日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料，1997.8
- 4)鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999.10
- 5)（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，1996.12



写真-1 耐震補強を行った波の上橋

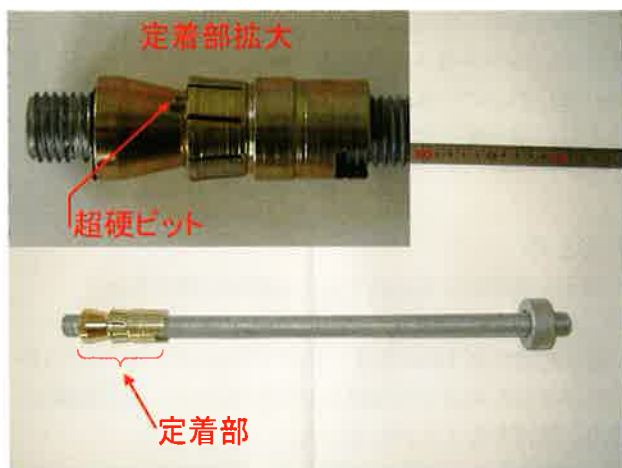


写真-2 拡底式アンカー



写真-3 プレキャスト型枠に設けられた  
拡底式アンカーの孔



写真-4 拡底式アンカー孔の施工状況(水中)



写真-5 拡底式アンカーの取り付け状況(水中)



写真-6 拡底式アンカーの設置状況



写真-7 拡底式アンカー孔の後処理状況  
(水中硬化性エポキシパテ)