

論文 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¹・小原 孝之¹・鈴木 顕彰¹・三島 徹也²

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、本補強法と水中耐震補強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。そこで本研究では、拡底式アンカーのアンカー施工位置にひび割れが発生した場合の引抜き耐力と、壁式橋脚のじん性補強に適用した場合の補強効果について検討を行う。

キーワード：拡底式アンカー、壁式橋脚、水中耐震補強工法、正負交番載荷実験

1. はじめに

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^{1),2)}。

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. 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すること及びコンクリートの拘束効果の向上を目的として、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。

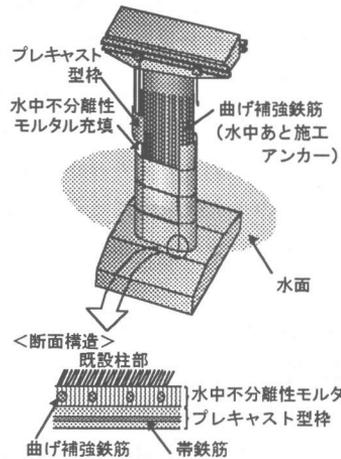


図-1 水中耐震補強工法の概要

*1 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第 1gr.

工修(正会員)

*2 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第 1gr.

工博(正会員)

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、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 鋼棒と同様な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載荷実験において、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載荷実験を行い、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でした。

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

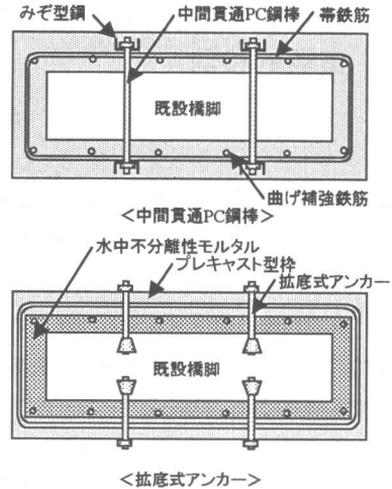


図-2 中間貫通 PC 鋼棒及び拡底式アンカーの施工概念

- 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

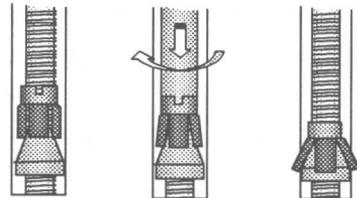


図-3 拡底式アンカーの定着機構と施工手順

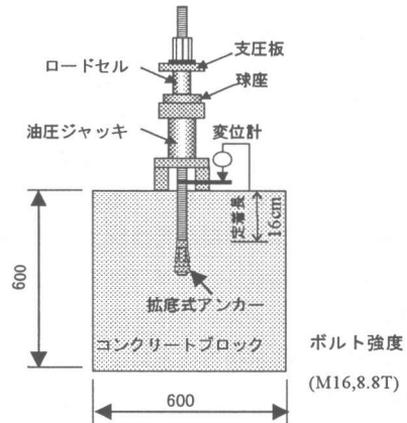


図-4 実験方法

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。

計測は引抜き荷重と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、また π ゲージによるひび割れ幅である。なお、本実験で使用した拡底式アンカー及びコンクリートブロックの強度はそれぞれ 8.8T、 42N/mm^2 である。拡底式アンカーの機械的性質を表-1 に示す。

3.2 実験結果

試験体の仕様と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の定着部の破損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。

引抜き性状を図-6 に示す。各試験体間で若干のばらつきは認められるが、幅 1 mm 程度(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、アンカー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荷重実験

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 2 体の正負交番荷重実験を行った。このうち一体は、従来工法として中間貫通 PC 鋼棒とコンクリート巻立て工法との併用で補強した橋脚モデルである。

試験体の概要と材料強度一覧を図-7、及び表-3 に示す。試験体は、まず壁式の既設橋脚(断面 270×1000) を 2 体製作し、その後の中

間貫通 PC 鋼棒とコンクリート巻立て工法との併用で補強した試験体 (No.1) と、拡底式アンカーとプレキャスト型枠を用いて補強した試験体 (No.2) とした。

拡底式アンカーには、アンカーの規格トルク値として、ひずみに換算して 2000×10^{-6} 程度を導入した。

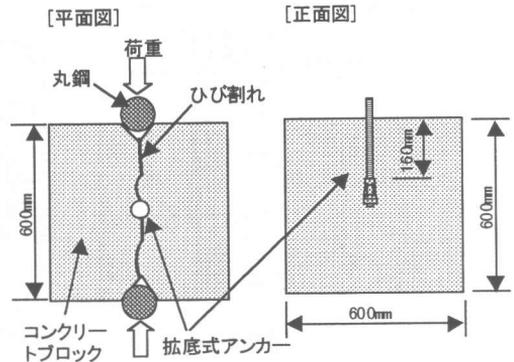


図-5 ひび割れ導入方法

表-1 拡底式アンカーの機械的性質

	降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)	降伏応力 (N/mm ²)	引張応力 (N/mm ²)
8.8T, M16	98	123	640	800

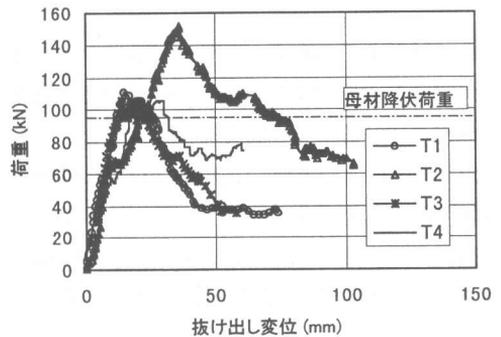


図-6 引抜き性状

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 ²)	最大荷重 (kN)	最大応力 (N/mm ²)	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	定着部の破損
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	

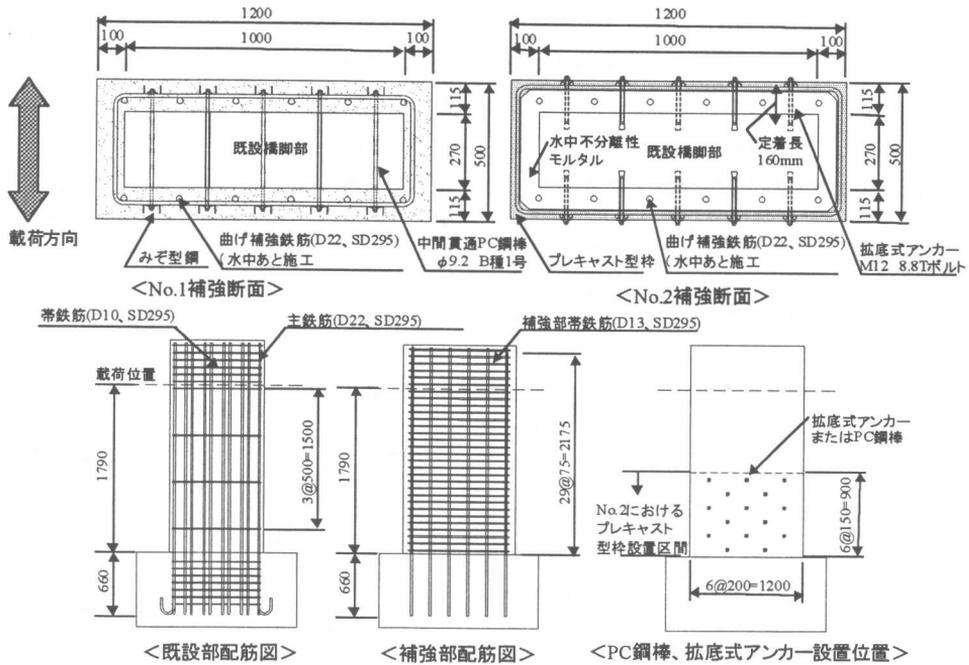


図-7 試験体の概要

表-3 材料強度一覧

試験体	軸力 (N/mm ²)	既設部 f _c 柱部	補強部					
			f _c			f _y		
			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	中間帯鉄筋
No.1	2.0	34	—	—	41	385	359	1046 (PC鋼棒)
No.2	2.0	31	46	65	—	385	359	534 (アンカー)

f_c:コンクリート強度(N/mm²), f_y:鉄筋, PC鋼棒及びアンカー降伏強度(N/mm²)

曲げ補強鉄筋 (D22) の定着方法は水中硬化性エポキシ樹脂により行い、その定着長さは補強筋径の 30 倍 (22×30=660mm) 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。また、プレキャスト型枠には No.1 試験体と同様に帯鉄筋を内包したのを用いた。

(2)実験方法

実験は図-8 に示すような荷重装置を用いて行った。軸力は 120tf (2.0N/mm²) で一定とし、水平荷重は 2δ_y まで繰り返し回数を 1 回とし、3δ_y 以降は 3 回とした。終局の判定は 1δ_y 時の曲げ耐力を下回った時点で終局とした。

4.2 実験結果

(1) 水平荷重-載荷点変位関係

実験結果の一覧を表-4 に、水平荷重-載荷

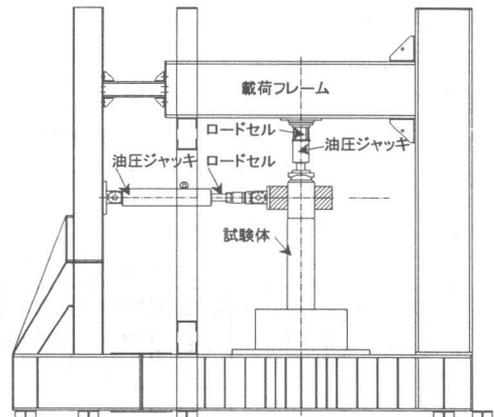


図-8 正負交番荷重実験装置

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⁴⁾、及び道路橋示方書耐震設計偏⁵⁾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。実験結果から、No.1, No.2 試験体ともじん性率、最大荷重についてほぼ同等な実験値となり、計算値を上回った。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、降伏荷重は計算値と実験値がほぼ一致しており、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性状は設置箇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 $1000\sim 2000\times 10^{-6}$ であったが、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

表-4 実験結果一覧

試験体	降伏荷重 Py (kN)	降伏変位 δy (mm)	最大荷重 Pmax (kN)	終局変位 δu (mm)	靱性率 μ	
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

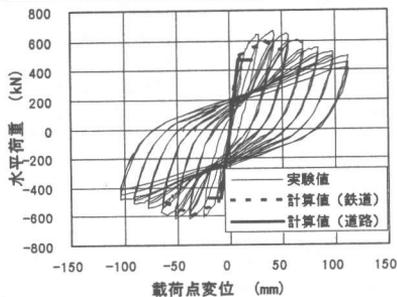


図-9 No.1の水平荷重-載荷点変位関係

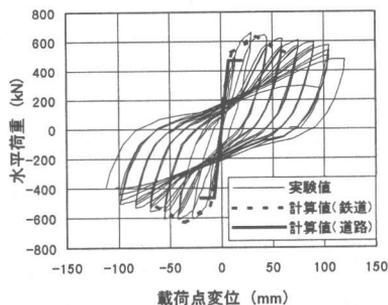


図-10 No.2の水平荷重-載荷点変位関係

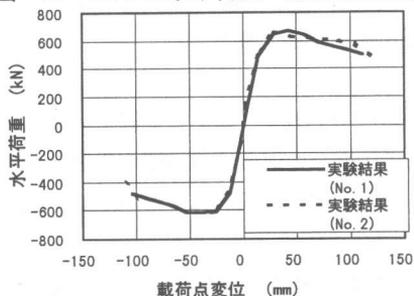


図-11 No.1とNo.2の包絡線の比較

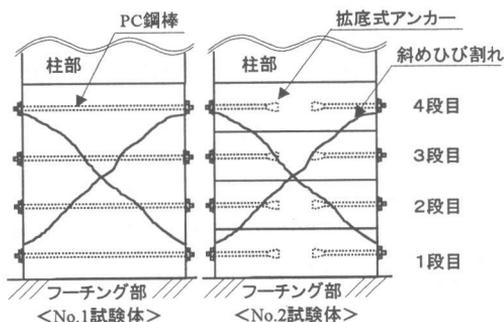


図-12 斜めひび割れ発生状況の模式図

既往の評価式により十分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に貼付したひずみゲージ値より算出した引抜き耐力の関係（降伏時まで）を図-15に示す。同図には、別途行った十分な定着を有する水中あと施工アンカーの引抜き実験結果も示す。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、垂直に引抜いた引抜き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. まとめ

- (1) 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した。
- (2) 既設橋脚に途中定着する拡底式アンカーによって中間貫通PC鋼棒と同様のじん補強効果が期待でき、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

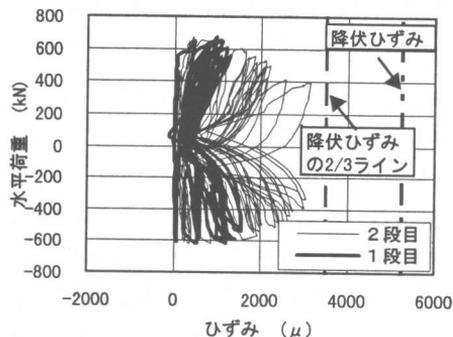


図-13 PC鋼棒のひずみ性状

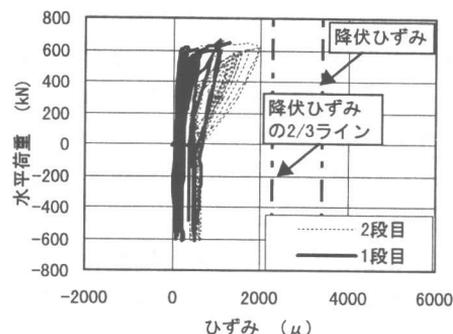


図-14 拡底式アンカーのひずみ性状

表-5 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 $\epsilon_1(\mu)$	降伏強度 $f_t(N/mm^2)$	実験時最大値		ϵ_1/ϵ_2	f_t/σ
			ひずみ $\epsilon_2(\mu)$	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

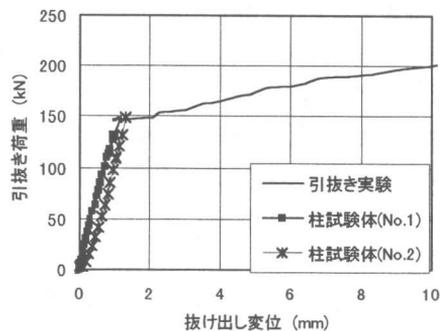


図-15 引抜き荷重と抜け出し変位の関係