

あと施工アンカーと鋼板を内包したプレキャストパネル型枠を用いた橋脚の水中耐震補強工法の開発に関する研究

山 本 晴 人 小 原 孝 之
新 保 学 幸*1 三 島 徹 也
丸 山 久 一*2

要 旨

躯体が水中に位置する橋脚の水中耐震補強工事では、橋脚周辺を鋼製矢板等で締め切りドライアップを行って施工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は高額であるため、建設コストの縮減が命題となっている。そこで、ドライアップをせずに橋脚が水中に位置したままの状態での補強工事を行うことができる水中耐震補強工法（PRISM 工法）の開発を行った。

本研究はまず、曲げ補強のための水中あと施工アンカーの開発を目的とした引き抜き実験により、効果的な水中あと施工アンカーを選定した。また、島モデルを用いて算出された付着応力分布より、あと施工アンカーの設計方法を提案した。そして本アンカーと鋼板内包プレキャストパネルによる耐震補強を行った柱試験体の正負交番載荷試験を行い、PRISM 工法によって十分な曲げ補強及びじん性補強効果が得られることを確認した。

キーワード あと施工アンカー／鋼板内包プレキャストパネル／島モデル／正負交番載荷実験／目荒らし処理

目 次

- | | |
|-------------------|------------------|
| 1. 工法の概要と研究の目的 | 3. 柱試験体の正負交番載荷実験 |
| 2. 引き抜き実験によるアンカーの | による耐震補強効果の検討 |
| 選定及び定着長算定式の構築 | 4. まとめ |

A STUDY ON THE SEISMIC REINFORCEMENT OF A PIER USING AN ANCHOR AND A PANEL OF PRE-CAST CONCRETE AND STEEL PLATE

Haruhito YAMAMOTO Takayuki OBARA
Takayuki SHINBO Tetsuya MISHIMA
Kyuichi MARUYAMA

Synopsis:

During the seismic reinforcement of a pier immersed in water, usually the pier is dried up by constructing a sheet pile around it, and then proceeding with the reinforcement of the pier. However, since the dry up method is very expensive, we developed a seismic reinforcement method of immersed piers without drying up, called PRISM Method.

In this study, we first chose an effective anchor from results of pullout tests with the objective of developing an anchor type for a reinforced bar resisting bending moment; then we proposed the design method of the anchor using the bond stress distribution calculated by Shima model. Finally, we carried out a cyclic loading test on a pier specimen reinforced with this anchor and a panel of pre-cast concrete and steel plate, as a result we confirmed that the PRISM Method improve the flexural rigidity and ductility properties of the pier.

*1 長岡技術科学大学 大学院 *2 長岡技術科学大学

1. 工法の概要と研究の目的

躯体が水中に位置する橋脚の水中耐震補強工事では、橋脚周辺を鋼製矢板等で締め切ってドライアップを行って施工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は高額であるため、建設コストの縮減が命題となっている。そこで、ドライアップをせずに、橋脚が水中にある状態のままで補強工事を行うことができる水中耐震補強工法（PRISM 工法）の開発を行った。

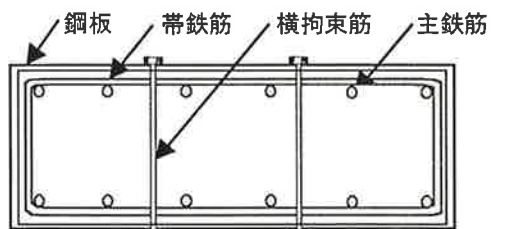
PRISM 工法は、水中あと施工アンカーによって曲げ補強筋を配置し、その周囲に鋼板または帯鉄筋を内包したプレキャストパネルを巻き立て、間隙を水中不分離性モルタルでグラウトするものである。この水中あと施工アンカーは曲げ補強筋を定着させて曲げ補強を期待するものであり、鋼板または帯鉄筋を内包したプレキャストパネルはせん断、及びじん性補強を期待したものである。図-1 に本報告で用いた PRISM 工法の概要を示す。

本工法の特徴を以下に示す。

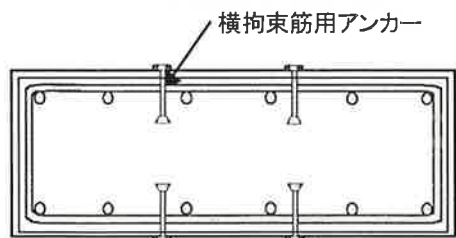
- ① プレキャストパネルに内包された鋼板または帯鉄筋は、独自に開発した機械式継手¹⁾によって連結される。現場での溶接作業が不要なため、水中施工にも支障がなく、確実な補強効果が得られる。
- ② プレキャスト部材に内包された鋼板または帯鉄筋は、耐久性の高い高強度モルタル²⁾によって保護されることになり、防食塗装が不要で、海中部、臨海部であってもほぼメンテナンスフリーといえる。
- ③ 既設橋脚とプレキャストパネルの間の間隙は、気中部に低収縮モルタルを充填し、海中部には水中不分離性モルタルを使用する。これにより、プレキャストパネルと既設橋脚は構造的に一体化される。
- ④ プレキャストパネルは、小型のチェンブロックなどを用いて容易に運搬・設置が可能であり、大がかりな仮設を必要としない。

本工法は橋脚が水中にある状態で補強工事を行うため、水中で施工したアンカーによる補強効果は把握しておくべき課題である。

そこで、本研究はまず、水中あと施工アンカーの引き抜き実験により、効果的な水中あと施工アンカーを選定を行った。そして、本アンカーと代表として鋼板内包プレキャストパネルを併用して耐震補強を行った柱試験体を作製し、PRISM 工法の耐震補強効果を検討する正負交番載荷実験を行った。



(a) じん性補強（横拘束筋）



(b) じん性補強（横拘束筋アンカー）

図-2 じん性補強の概念図

2. 引き抜き実験によるアンカーの選定及び定着長算定式の構築

2.1 水中あと施工アンカーの施工法及び実験の概要

橋脚の耐震補強は、図-2 に示すじん性補強と図-3 に示す曲げ補強の2つに分けられる。じん性補強においては、長方形断面の場合、通常、有効高さ程度の間隔で横拘束筋が用いられる。また、曲げ補強においては、フーチングに曲げ補強筋を定着させるために、あと施工アンカー（曲げ補強用アンカー）が用いられる。

なお、横拘束筋は橋脚断面を貫通して設けるのが普通であるが、水中施工を前提とした工法では、施工上の困難を伴うことが予想される。そこで、図-2(b)に示すように、横拘束筋の代わりに適用可能なあと施工アンカーを新たに検討することとした。

水中施工を前提とした工法を対象とした曲げ補強用アンカーと横拘束筋用アンカーの要求性能をまとめると次のようになる。

(1) 曲げ補強用アンカーとしての要求性能

- ・母材破断すること
- ・鉄筋降伏後の変形性能に富んでいること
- ・主鉄筋に用いられるため、太径に対応していなければならないこと
- ・水中施工においても品質のばらつきが少ないこと

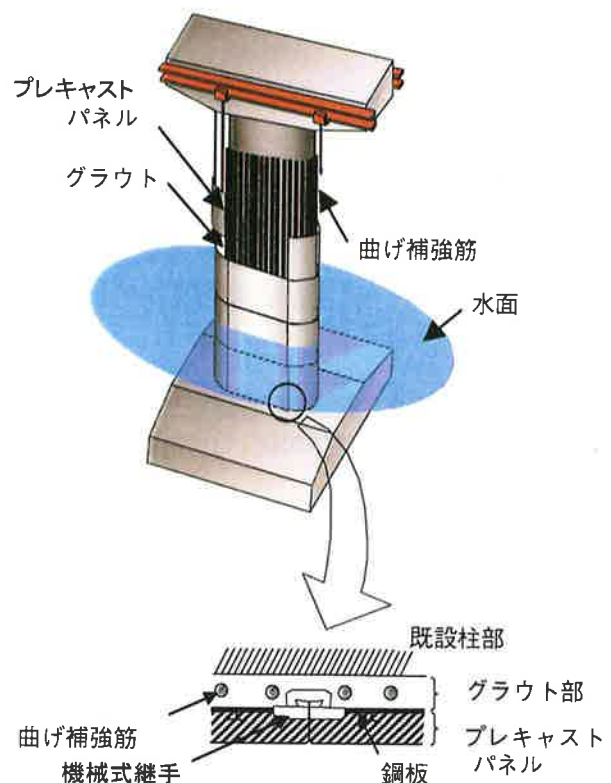


図-1 PRISM 工法（鋼板内包プレキャストパネル）

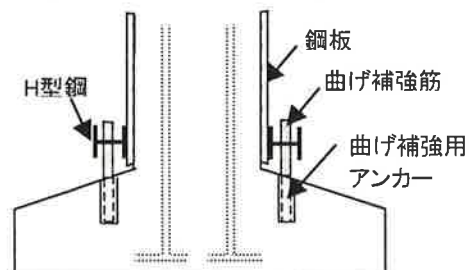


図-3 曲げ補強の概念図

(2)横拘束筋用アンカーとしての要求性能

- ・母材降伏すること
- ・降伏後のじん性は必ずしも必要なく、材質は高強度であること
- ・定着させるコンクリートがひび割れを有した場合でも引き抜き耐力が低下しないこと
- ・水中施工においても品質のばらつきが少ないこと

本実験では、これらの要求性能を満たす水中あと施工アンカーを選定するため、シリーズ1～3の実験を行った。なお、アンカー先端の定着具としては(1)定着具なし、(2)円錐状のテーパコーン、(3)アンダーカットの3種類を対象とした。

水中あと施工アンカー及びその施工方法を図-4及び図-5に示す。アンダーカットアンカーにおいては、アンカー先端部のアンダーカット形成用工具が、確実な定着をとる上で重要であり、今回のあと施工アンカー用に特注したものを使用した。また、図-5に示す目荒し処理に用いたツールは、今回のあと施工アンカーの引き抜き実験により、開発したものである。

アンカーの施工は全てコンクリートブロックを水槽に沈めた水中で打設し、実験は気中でセンターホールジャッキを用いて行った。計測箇所は、引き抜き荷重とコンクリートブロック天端近傍の補強筋のひずみと抜け出し変位、また付着応力の性状を把握するものに関しては、埋め込まれた鉄筋にゲージを貼付し、ひずみを計測した。

以下に各シリーズの実験の概要を示す。

1) シリーズ1の実験

シリーズ1では、効果的な曲げ補強用アンカーの選定を目的に、図-6に示すようなマッシュ型コンクリートブロックによる引き抜き実験を行った。実験に用いた曲げ補強鉄筋は、比較的降伏後の変形性能に富んだSD295～SD490の中で、より高い引き抜き耐力性状を検討できるSD490を用い、鉄筋径は実用的と思われるD32を用いた。また、水中あと施工アンカーの性能を支配するパラメータとして、以下のようなものを挙げて実験を行った。

① 窄孔孔表面の性状

窄孔方法によって、窄孔孔表面の性状は異なる。ハンマードリルによる窄孔では孔表面がざらつくが、コアボーリングによる窄孔では孔表面は滑らかである。孔表面の凹凸が大きいほど付着性能がよいと予想される。また、孔表面を目荒らし処理することにより付着性能は向上すると考えられる。

② 補強筋径に対する最適窄孔径と寸法効果

補強筋径が大きくなることによって寸法効果が生じるだけでなく、樹脂の硬化に伴う収縮が窄孔径に依存し、付着性能が異なることが予想される。補強筋径に対して窄孔径が大きいと付着力が低下し、その傾向は補強筋径が大きくなるほど顕著に現れると考えられる。

2) シリーズ2の実験

シリーズ2では横拘束筋用アンカー（じん性補強用アンカー）の選定を目的に、M16の補強筋径の、高強度材料（降伏627MPa）を用いて実験を行った。この時、コンクリートブロック（試験体）にはアンカー施工箇所に予めひび割れを導入し、ひび割れが発生している場合の引き抜き耐力性状を検討した。

3) シリーズ3の実験

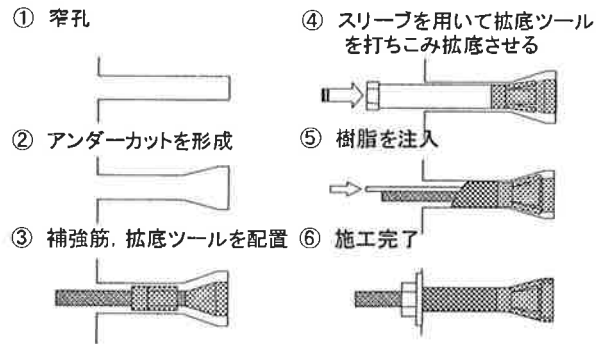


図-4 アンダーカットアンカーの施工

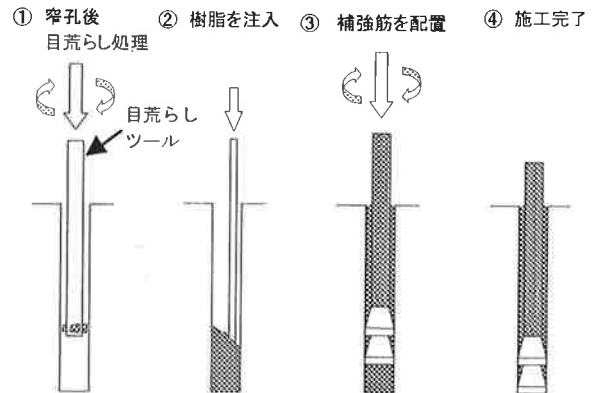


図-5 補強筋のみ及びテーパコーンタイプのアンカーの施工

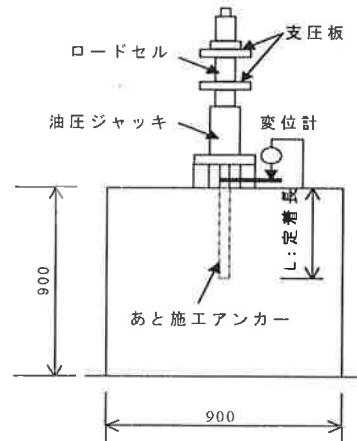


図-6 実験方法

シリーズ3では、シリーズ1で選定した曲げ補強用アンカーの仕様を用い、島ら²⁾により構築されたモデルをもとに、曲げ補強用アンカーの付着性状の把握及び定着長算定式の構築を目的とした実験を行った。

2.2 実験結果

試験体の仕様と実験結果の一覧を表-1に示す。

2.2.1 シリーズ1の実験結果

(1) 窄孔孔表面性状の違いの影響

図-7にNo.3～5の荷重－抜け出し関係の代表例を示す。これらは、窄孔方法のみをパラメータとしている。これより、荷重と抜け出し変位の関係は窄孔孔表面の凹凸の状態によって大きく異なり、コアボーリングの窄孔孔表面に目荒らししたもの(No.1)が最も荷重と抜け出し変位の関係が優れていた。ハンマードリルによるもの(No.5)もそれに準ずるが、コアボーリング窄孔孔表面に目荒らしをし

表-1 実験結果一覧

		鉄筋仕様	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	コンクリート強度 (MPa)	補強筋	定着長	窄孔方法	孔内側表面処理	孔径 (mm)	定着具	ひびわれ幅 (mm)	破壊モード	Pmax (kN)	Pmax/Py	Pmax/Pu	τu (MPa)
シリーズ1	No. 1	D32 SD490	474	630	36	D32	10D	コアボーリング	目荒らし有り	51	テーパーコン 2ヶ	—	付着破壊	414	1.1	0.8	13.5
	—											付着破壊	400	1.1	0.8	12.8	
	—											付着破壊	393	1.0	0.8	15.0	
	—											付着破壊	145	0.4	0.3	4.9	
	—											付着破壊	271	0.7	0.5	9.1	
	—											付着破壊	268	0.7	0.5	9.3	
	No. 2									—	付着破壊	457	1.2	0.9	14.3		
	—									母材破断	478	1.3	0.9	14.8			
	—									付着破壊	400	1.1	0.8	15.8			
	No. 3									—	付着破壊	214	0.6	0.4	6.7		
シリーズ2	No. 4	8.8t	627	784	36	M16	20D	ハンマードリル穿孔	ドリル穿孔	24	テーパーコン 2ヶ	—	母材破断	112	1.6	1.1	13.9
	—											母材破断	122	1.8	1.3	15.2	
	—											母材破断	120	1.8	1.2	14.9	
	—											母材破断	108	1.1	0.9	13.5	
	—											母材破断	120	1.2	1.0	15.0	
	—											母材破断	118	1.2	1.0	14.7	
	No. 5				—	母材破断	120			1.2	1.0	19.9					
	—				1.05	定着部破損	122			1.2	1.0	20.3					
	—				付着破壊	87	0.9			0.7	14.5						
	—				付着破壊	31	0.3			0.2	5.1						
シリーズ3	No. 6	D32 SD345	364	581	36	D32	10D	コアボーリング	目荒し有り	38	なし	—	付着破壊	453	1.6	1.0	14.2
	—											付着破壊	433	1.5	0.9	13.5	
	—											母材破断	466	1.6	1.0	14.6	
	—											母材破断	473	1.6	1.0	7.4	
	—											母材破断	467	1.6	1.0	7.3	
	—											母材破断	472	1.6	1.0	7.4	
	No. 7				—	母材破断	468			1.6	1.0	4.9					
	—				母材破断	480	1.7			1.0	5.0						
	—				母材破断	472	1.6			1.0	4.9						
	—				母材破断	472	1.6			1.0	4.9						

P_{max}: アンカーの最大耐力, P_y: 母材の降伏耐力, P_u: 母材の終局耐力, τ_u: アンカーの最大耐力時の平均付着応力

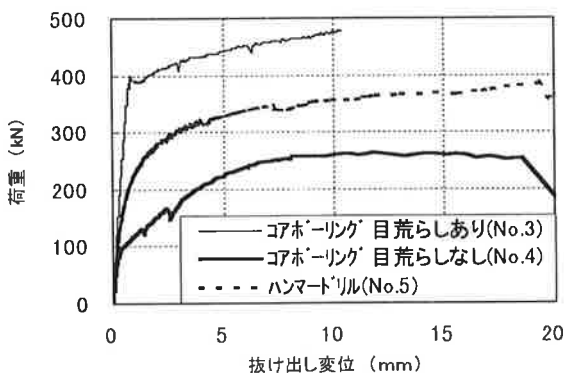


図-7 荷重と引き抜き変位関係に及ぼす表面性状の影響

ないものは初期の段階から抜け出し変位が大きい。

これより、窄孔方法としてはコアボーリングを用い、窄孔孔表面には目荒し処理を行ったものを用いることとした。

(2) 補強筋径と窄孔径の比率の影響

No.2 と No.3 は鉄筋径及び窄孔方法が同条件のものであるが、窄孔径が異なるものである。図-8 に付着応力に及ぼす窄孔径と補強筋径の大きさの比率の影響を示す。これらを比較すると、窄孔径と補強筋径の大きさの比率が小さいほどアンカーの付着強度が大きく、強度のばらつきも小さいことがわかる。窄孔径が大きいものは樹脂を注入する体積も大きくなることから、樹脂の硬化に伴

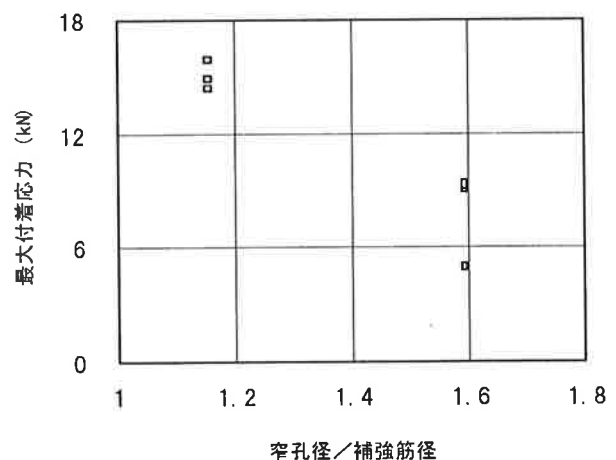


図-8 付着応力に及ぼす窄孔径/補強筋径の影響

う収縮の影響を受け、付着応力が低減されたものと推定される。

これより窄孔径は、孔の施工上で問題がない限り、できるだけ補強筋径に近いものを用いることとした。

2.2.2 シリーズ2の実験結果

横拘束筋用として、降伏強度 627MPa の高強度材料を用いたアンカー引き抜き実験の結果は以下のようになった。

(1) 初期ひび割れがない場合

定着長が 20D と長い場合については、テーパーコーン 2 個(No.6)、アンダーカットタイプ(No.7)とも母材破断しており、両者に大きな差は見られない。一方、定着長が 8D と短い場合については、アンダーカットタイプ(No.8)は母材破断するが、テーパーコーンタイプ(No.12)では 6 個の定着具が必要であることがわかった。

(2) ひび割れを導入した場合

初期ひび割れを導入した場合、テーパーコーンタイプ(No.13)では 6 個の定着具を用いても母材降伏($P_y=98\text{kN}$)には至らず、不十分な結果となった。これに対して、アンダーカットタイプ(No.9)では、母材降伏以上の引き抜き耐力を有していることが確認できた。アンダーカットタイプは、機械的なかみ合いによって定着されているため、初期ひび割れの影響を受けにくいと考えられる。

これらの結果より、横拘束筋用アンカーとしては、アンカー材に高強度材料を用いた場合も母材降伏以上の引き抜き耐力を有しているアンダーカットタイプのアンカーが適していることがわかった。

2.3 水中あと施工アンカーの付着性状と定着長算定式

曲げ補強用アンカーの付着性状の把握及び定着式の構築を目的に、シリーズ 3 の No. 14～No. 16 の実験を行って、以下のような検討を行った。なお、実験結果は定着長の長い No. 15, No. 16 は母材破断により終局を迎えており、水中施工においても品質のばらつきはないことが確認できる。

2.3.1 既往のコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋のモデルとの比較

図-9 に代表として、No. 14 の試験体の荷重と抜け出し変位の関係を示す。

マッシブなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着-すべり-ひずみ関係のモデルに、島らのモデル²⁾がある。(1式)鉄筋に沿った位置の局所付着応力がすべり量とひずみの関数で表される。

$$\frac{\tau}{f_c} = 0.73(\ln(1+5s))^3 / (1 + \varepsilon \times 10^5) \quad (1)$$

ここで、 $s=1000 \times S/D$ 、 τ は付着応力、 f_c はコンクリートの圧縮強度、 S はすべり量、 D は鉄筋径、 ε は鉄筋のひずみである。本モデルによる荷重と抜け出し変位関係の計算値を同図に示す。これらの比較から本水中あと施工アンカーが、マッシブなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋と同等の付着性状を有していることがわかる。

2.3.2 鉄筋に沿った位置の付着応力分布

ひずみゲージを添付した試験体の計測結果より、鉄筋に作用している付着応力を求める。付着応力は、その点における鉄筋の応力分布を、近傍の 3 点を結ぶ 2 次放物線に設定し、以下の式により求めた²⁾。

$$\tau = \frac{E \cdot D}{4} \frac{d\sigma}{dx} \quad (2)$$

ここで、 $d\sigma/dx$ は鉄筋応力の傾き、 τ は付着応力、 σ は鉄筋の応力である。代表例として No. 14 試験体の鉄筋の軸方向の付着応力分布を図-10 に示す。ここでは、コン

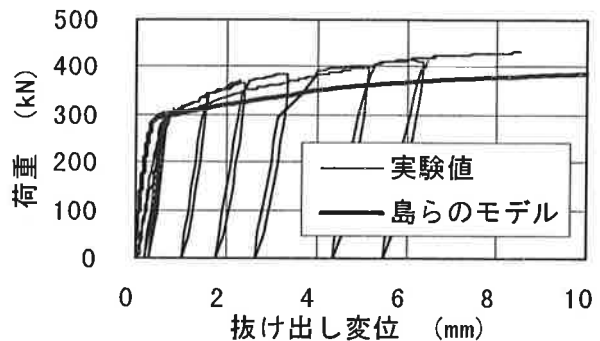


図-9 荷重と抜け出し変位の関係 (No. 14)

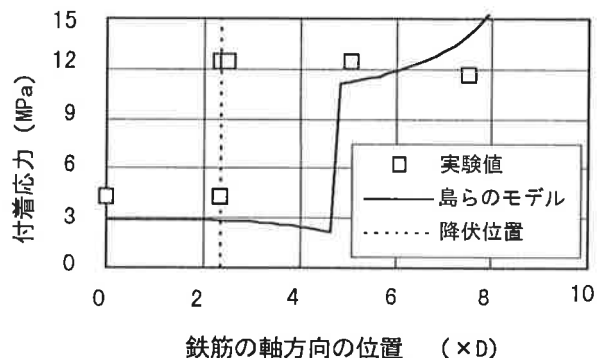


図-10 No. 14 ($P=330\text{kN}$) の付着応力分布

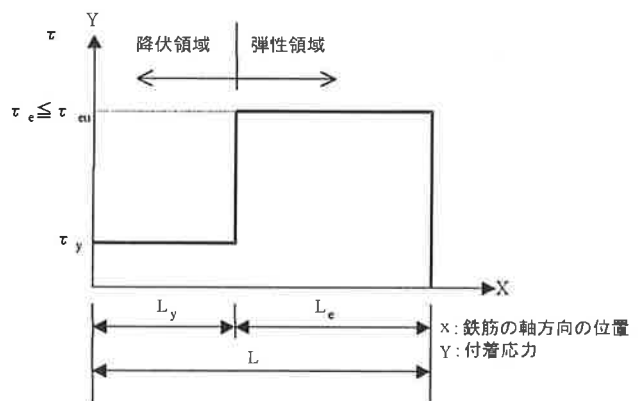


図-11 付着応力分布の仮定

クリートブロック天端を原点とし、深さ方向を正にとっている。同時に、島らのモデルによる計算値を示す。実験値は、ひずみゲージが計測不能となる直前のデータを示したもので、最大耐力時のものではない。弾性領域と降伏領域で付着応力のレベルが異なるが、降伏領域では各試験体間でおおよそ同程度で、4～8MPa 程度であった。島らのモデルの計算値と比較すると、計算値の方が降伏領域における付着応力が小さく、付着領域が広いことがわかる。本アンカーの方が弾性領域が長いので、弾性領域での付着応力は異形鉄筋の計算値に比較して低減されている。

2.3.3 定着長算定式の構築

本アンカーの鉄筋の付着応力分布を図-11 のように仮定する。付着応力は鉄筋の降伏領域と弾性領域に分けられ、それぞれ矩形に分布するとする。このとき、鉄筋にある降伏を超える引張力(P)が作用した時の鉄筋の力のつり合いは以下のようにあらわされる。

$$P = \pi D \tau_y L_y + \pi D \tau_e L_e \quad (3)$$

$$P - P_y = \pi D \tau_y L_y \quad (4)$$

ここで、 τ_y は降伏領域の付着応力、 τ_e は弾性領域の付着応力、 L_y は降伏領域の長さ、 L_e は弾性領域の長さである。実験より得られた降伏領域の付着応力はおおむね一定を示しているため、No. 14～No. 16 試験体で得られた値のおおよそ平均値、 $\tau_y = 5 \text{ MPa}$ を定義する。

ここで、鉄筋破断耐力と付着破壊耐力とが等しいような定着長さ (L_u) を持つアンカーを考える。この時、式(4)を最大荷重時 (P_u) について以下のようにあらわされる。

$$P_u = \pi D \tau_y L_{yu} + \pi D \tau_{eu} (L_u - L_{yu}) \quad (5)$$

$$P_u - P_y = \pi D \tau_y L_{yu} \quad (6)$$

ここで、 τ_{eu} は弾性領域でアンカーが負担できる付着応力、 L_{yu} は最大荷重時の降伏領域長さ、 $L_{eu} (= L_u - L_{yu})$ は弾性領域長さである。No. 14 は付着破壊し、No. 15, No. 16 が鉄筋が破断したことから、No. 15 の定着長さが L_u に近かったと考えて、式(5)、式(6)に $D = 3.2 \text{ cm}$ 、 $L_u = 64 \text{ cm}$ を代入すると τ_{eu} 、 L_{yu} 、 L_{eu} は以下のように逆算される。

$$L_{yu} = \frac{D}{4} \frac{f_u - f_y}{\tau_y} = 34.8 \text{ cm} \quad (7)$$

$$L_{eu} = L_u - L_{yu} = 29.2 \text{ cm} \quad (8)$$

$$\tau_{eu} = \frac{D}{4} \frac{f_y}{(L_u - L_y)} = 10.0 \text{ MPa} \quad (9)$$

ここで、 f_y は鉄筋の降伏強度、 f_u は鉄筋の引張強度である。この時の弾性領域の長さ L_{eu} は No. 14 の定着長さ (32cm) に近いので、No. 14 の降伏時の応力分布に類似するはずである。図-12 に No. 14 の降伏時の付着応力分布と τ_{eu} の比較を示す。これより、付着分布の傾向をおおむね捉えていることがわかる。

以上より、ある引張荷重 P に対して必要な水中あとと施工アンカーの定着長さ (L) は以下のようにあらわされる。

$$L = L_{yu} + L_{eu} = \frac{D}{4} \frac{(f_u - f_y)}{\tau_y} + \frac{D}{4} \frac{f_y}{\tau_{eu}} \quad (10)$$

ここで、 $\tau_y = 5 \text{ MPa}$ 、 $\tau_{eu} = 10 \text{ MPa}$ である。

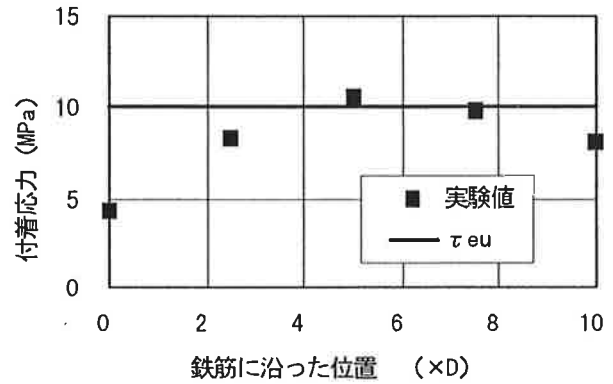


図-12 No. 14 の降伏時の τ 分布と τ_{eu}

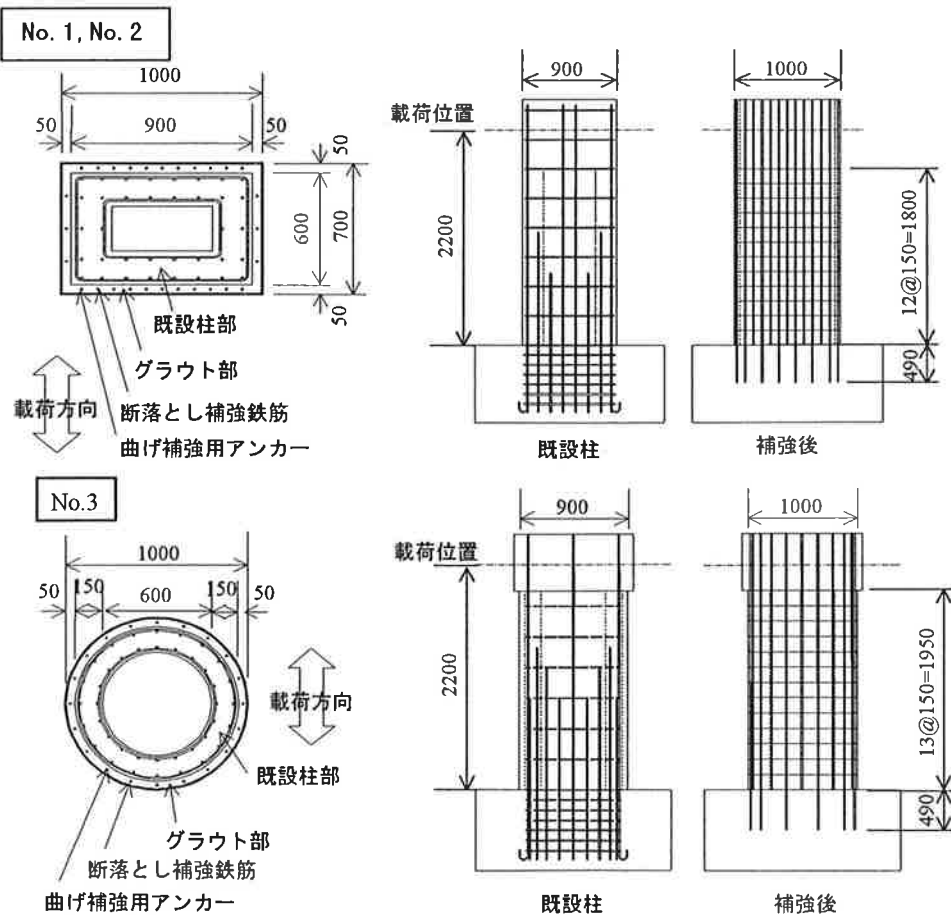


図-13 試験体の概要

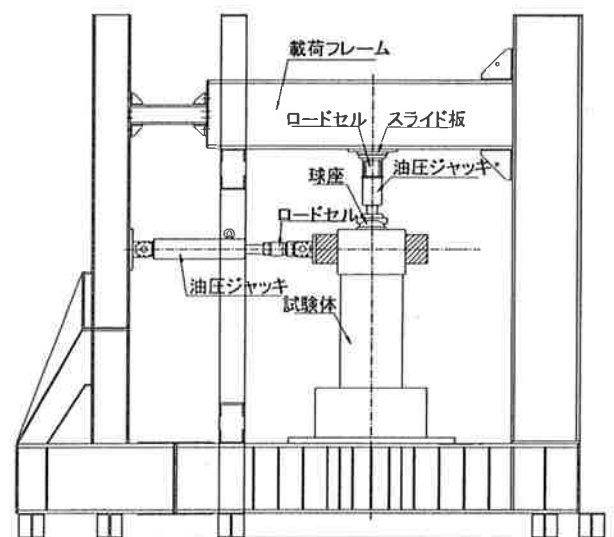


図-14 載荷装置の模式図

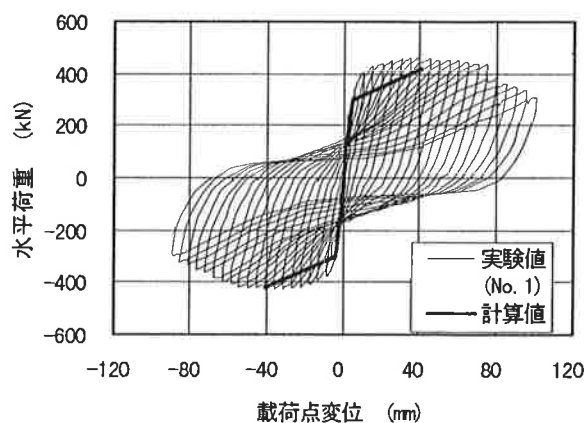


図-15 履歴性状 (実験値と計算値の比較、No.1)

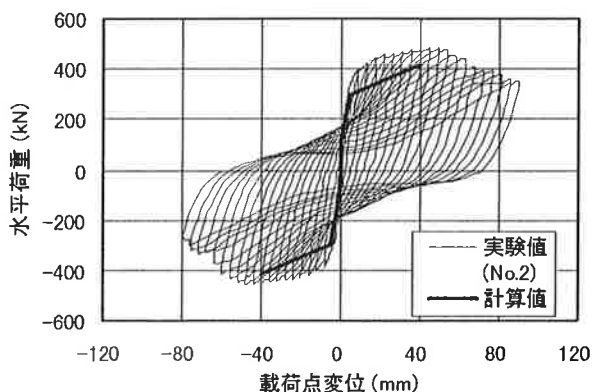


図-16 履歴性状 (実験値と計算値の比較、No.2)

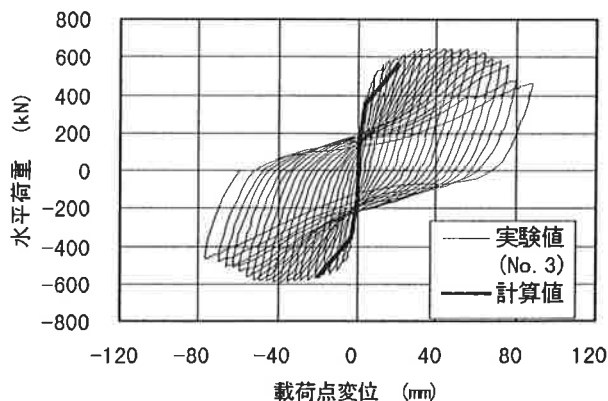


図-17 履歴性状 (実験値と計算値の比較、No.3)

表-2 材料強度

試験体	既設部				補強部		
	コンクリート強度		鉄筋降伏強度		グラウト	基部、断落とし部 補強鉄筋降伏強度 SD345 D13 (MPa)	鋼板降伏強度 SS400 t=2.3mm (MPa)
	ベース部 (MPa)	柱部 (MPa)	主鉄筋 SD345 D13 (MPa)	主鉄筋 SD345 D10 (MPa)			
No.1	450	432	4004	4229	576	3794	2820
No.2	376	350	4004	4229	560	3794	2820
No.3	439	456	4004	4229	599	3794	2820

表-3 試験体の仕様

試験体	軸力 (MPa)	既設部					補強部						
		断面仕様	断面寸法 (mm)	基部主筋		基部 帯鉄筋	鋼板 仕様	基部定着鉄筋		段落とし補強鉄筋		中間帯鉄筋 用定着鉄筋	PCaパネル 厚さ(mm)
				段数	仕様			段数	仕様	段数	仕様		
No. 1	1.274	矩形 中空	外形 900*600 中空部 500*240	1	SD345 D13*8本	SD345 D10*2段 etc 300mm	SS400 厚さ 2.3mm				SD345 D13*5本	なし	なし
2				D13*8本				SD345 D13*6本	1	D13*2本			
3				D13*4本				D13*2本	2	D13*2本			
4				D13*8本				D13*2本	3	D13*2本			
5				D13*8本				D13*5本	4	D13*5本			
No. 2												8.8t M16*4 (5段)	150
No. 3	1.96	円形 中空	外形 900 中空 600	1	SD345 D13*20本	SD345 D10*2段 etc 300		1	SD345 D13*10本	1	SD345 D13*10本	なし	なし

表-4 実験結果一覧

		降伏荷重 Py (MPa)		降伏変位 δy (mm)		最大荷重 Pmax (MPa)		終局変位 δu (mm)		靱性率 μ
		正側	負側	正側	負側	正側	負側	正側	負側	
No.1	実験値	311.64	302.82	5	4.5	461.58	427.28	100.2	90	20
	計算値	300.86		4.7		417.48		40.5		8.6
No.2	実験値	314.58	294.686	3.97	3.4	477.75	447.566	45.02	40.02	20以上
	計算値	311.934		4.33		438.844		76.62		17.7
No.3	実験値	373.38	376.32	4	3.5	646.8	591.234	36.03	35	20以上
	計算値	353.78		3.6		561.54		20.2		5.6

3. 柱試験体の正負交番载荷実験による耐震補強効果の検討

3.1 試験体及び実験の概要

図-13 に試験体の概要を示す。また、表-2、表-3 に材料強度及び試験体の仕様の一覧を示す。試験体は、既設橋脚部が矩形中空断面(No.1, No.2)と円形中空断面(No.3)を有する、実構造物のおおよそ 10 分の 1 スケールにモデル化したものであり、その既設橋脚部を PRISM 工法によって補強することにより作製した。このとき、曲げ補強用アンカーは水中で施工している。なお、今回用いたプレキャストパネルは鋼板を内包したものを使用した。

本試験体の既設橋脚部には断落とし部が設けられているため、水中あと施工アンカーによってフーチングに定着させたものの他に、フーチングには定着させない断落とし補強鉄筋を配置することによって曲げ補強を行った。また、No.3 試験体には、横拘束筋のようなじん性補強効果を期待して、アンダーカットアンカーを横拘束筋用アンカーとして施工した。PCa パネルのモルタル部は設計上考慮しないことから、No.1, No.3 は鋼板のみのじん性補強を行った。

図-14 に载荷装置の模式図を示す。柱軸方向の油圧ジャッキにより上部工及び柱自重に相当する軸力を载荷し、水平方向のジャッキにより正負交番に水平荷重を载荷した。実験は主鉄筋が降伏するとき(水平荷重と载荷点変位の関係において剛性の変わる瞬間)の変位をもって降伏変位(δ_y)とし、その倍数ごとに、 $\pm 1\delta_y$ 、 $\pm 2\delta_y$ 、 $\pm 3\delta_y$ …と、正負交番に载荷した。なお、繰り返し回数は 1 回とした。また、降伏変位の時の水平荷重を P_y とし、水平荷重と载荷点変位の関係の包絡線において P_y を下回る時、或いは $20\delta_y$ を越えた時点で終局とした。

3.2 実験結果

実験結果の一覧を表-4 に示す。水平荷重と载荷点変位の関係を図-15～図-17 に示す。ここで、計算値は道路橋示方書耐震設計編³⁾の方法に準拠して求めたものである。実験結果は最大荷重、じん性率ともに計算値を上回っており、本工法による耐震補強効果が十分であることがわかった。また、図-18 に No.1 の代表的なアンカーのひずみの履歴を示す。アンカーは大きく塑性変形して曲げ補強に有効に寄与しており、本アンカーの仕様が曲げ補強筋の定着として十分であることが認められた。以上より、水中あと施工アンカーと鋼板内包プレキャストパネルによる曲げ及びじん性・せん断に対する耐震補強効果が十分であることがわかった。

4. まとめ

水中施工可能な橋脚の耐震補強工法として、PRISM 工法を考案した。PRISM 工法に必要な水中あと施工アンカーの選定試験及び補強確認実験を行い、以下の結論を得た。

- 1) 水中あと施工アンカーによる曲げ補強と鋼板内包プレキャストパネルによるせん断・じん性補強を行った柱試験体の正負交番载荷試験を行った結果、PRISM 工法によって十分な耐震補強効果が得られることが示された。
- 2) テーパーコーンタイプのアンカーは、引き抜き耐力の向上にある程度の効果があるが、初期ひび割れの影響を受けやすく、横拘束筋用アンカーとしては適していない。
- 3) アンダーカットアンカーは、初期ひび割れがアンカー位置に生じた場合でも耐力低下が見られない。これ

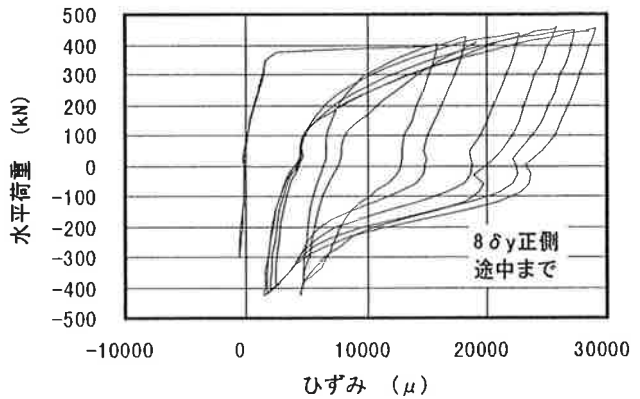


図-18 アンカーのひずみ性状(No. 1)

により、横拘束筋用アンカーにはアンダーカットアンカーを採用することとした。

- 4) 定着具を配置しない曲げ補強用アンカーの引き抜き耐力は、補強筋径と窄孔径の関係が大きく影響する。窄孔径は、アンカー径にできるだけ近い方が引き抜き耐力は向上する。
- 5) 窄孔の孔表面の性状が接着系のあと施工アンカーの付着強度に大きく影響する。コアボーリングによる窄孔と目荒らし処理を併用することによって引き抜き耐力が大きく向上することを確認した。これにより曲げ補強用には本形式の窄孔方法を採用することとした。
- 6) 島らの異形鉄筋の付着性状の知見から、曲げ補強用あと施工アンカーの定着長さに対する耐力評価式を提案した。

参考文献

- 1) 中島良光, 鈴木顕彰, 三島徹也, 渡辺忠朋: プレキャストパネルによる高架橋の耐震補強工法に関する研究, 「コンクリート系構造物の耐震技術」に関するシンポジウム論文報告集, 日本コンクリート工学協会, pp229～235, 1997.4
- 2) 島弘, 周礼良, 岡村甫: マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係, 土木学会論文集, 第 378 号/V-6, pp.165～174, 1987.2
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1996.12
- 4) 小原孝之, 山本晴人, 新保学幸, 丸山久一: 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, 日本コンクリート工学協会, pp343～348, 1999.7
- 5) 小原孝之, 山本晴人, 新保学幸, 丸山久一: あと施工アンカーと鋼板を内包したプレキャストパネル型枠を用いた橋脚の水中耐震補強工法に関する実験的検討, 第 54 回年次学術講演会講演概要集, 1999 (投稿中)