

PRISM工法の新型継手鋼材の適用に関する検討

松 林 卓 小 原 孝 之
三 島 徹 也

要 旨

水中RC橋脚の耐震補強工法PRISM工法が開発され、すでに港湾内の3橋梁において実用に供されている。河川にかかる水中橋脚においては、施工時期が渇水期に限られるため、工期短縮効果のあるPRISM工法の採用が今後多くなると考えられる。この現状を踏まえ、プレキャストパネルの生産性の向上および製造工期短縮を目的として、プレキャストパネルの新しい継手構造を提案した。

新型継手を製作した結果、継手の製造工期は25%程度短縮でき、プレキャストパネルの製造工期としては20%程度、補強工事費としては7%程度の削減効果があることがわかった。また、新型継手構造試験体および同補強柱試験体それぞれについて構造実験を実施した結果、いずれの試験体についても十分な構造性能を有していることが確認され、新型継手鋼材を使用したプレキャストパネルの施工性についても良好であることが確認された。

キーワード 橋脚／耐震補強／継手／生産性／工期短縮／構造性能

目 次

- | | |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1. はじめに | 4. 新型継手鋼材を用いたプレキャストパネル補強柱の耐震性能 |
| 2. 新型継手鋼材を用いたプレキャストパネルの検討 | 5. まとめ |
| 3. 新型継手鋼材の一軸引張性能 | 6. おわりに |

A STUDY ON APPLICATION OF AN IMPROVED JOINT STEEL ELEMENT TO PRISM METHOD

Taku MATSUBAYASHI Takayuki OBARA
Tetsuya MISHIMA

Synopsis:

The PRISM method, which strengthens RC piers existing in the water, has been already applied to 3 bridges in sea water near harbor. The PRISM method, which can save construction time, is expected to be more popular in strengthening RC pier in river, because the construction time of such a structure is limited in the drought season. Considering these facts, we proposed a new type of steel joint element in order to achieve further improvement against the productivity of precast panel.

Through our trial production, we found that we attained 25% cut-off in producing time of the joint element itself, which leads to 20% cut-off in producing time of precast panel and 7% cut-off in total cost of the strengthening work. Furthermore, we carried out uniaxial tensile tests of the improved steel joint element and reversed cyclic loading tests of a pier specimen strengthened by the precast panel. From these results, we confirmed that the joint element itself and the pier specimen strengthened by the PRISM method have sufficient structural performance and constructing efficiency is much improved as well.

1. はじめに

既設の水中RC橋脚を、ドライアップを行わずにプレキャストパネルによって耐震補強する工法—PRISM工法—が開発され、すでに港湾内の3橋梁において実用に供されている¹⁾。図-1に本工法の概要を示す。本工法は既設橋脚の周囲に帯鉄筋を内包したRCプレキャストパネルを配置し、間隙に充填材を充填することにより補強を行うものである。

このとき、プレキャストパネル内の帯鉄筋はパネル端部の接合部で接続される必要があるため、パネル端部に機械式の継手を設けて接続を行う(図-2参照)。しかし、鉄筋をフレア溶接により継手鋼材に溶接する必要があるため、継手の製作に期間を要することや、補強帯鉄筋量を多く必要とする場合においては継手部材が過大となり、その製作コストがネックとなる問題が生じている。

特に、河川にかかる水中橋脚においては施工時期が渇水期に限られるため、さらなる工期短縮が命題となっている。しかし、現状では継手鋼材の製造、鉄筋の溶接に日数を要するため、プレキャストパネルの製造が現場の施工に追いつかないことが予想される。また、

近年の技術革新により、種々の水中橋脚の補強工法が開発されつつあり、本工法においてもさらなるコスト縮減が求められている。したがって、プレキャストパネルの製造工期の短縮と工法のコスト縮減が本工法の課題である。

以上の課題を解決するために、プレキャストパネルを接続する継手鋼材の改良を試みた。

2. 新型継手鋼材を用いたプレキャストパネルの検討

2.1 継手鋼材の改良(提案型継手鋼材)

従来型継手鋼材と新型継手鋼材の構造概念の比較を図-3に示す。従来型継手においては、鉄筋の引張力に対して偏心モーメントが生じる構造となっているのに対し、新型継手においては偏心軸力が発生せず、偏心モーメントが生じないため、結果として部材寸法を小さくすることができる。また、従来型継手においては鉄筋と継手鋼材との接続をフレア溶接により行っていたのに対し、新型においては、カプラー方式の機械式継手とし、溶接が不要の構造となっている。

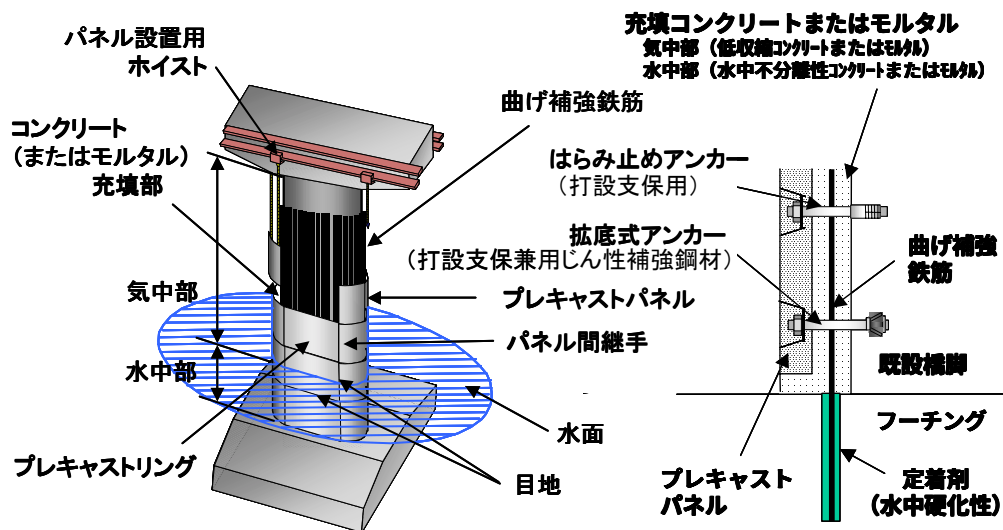


図-1 PRISM工法の概要

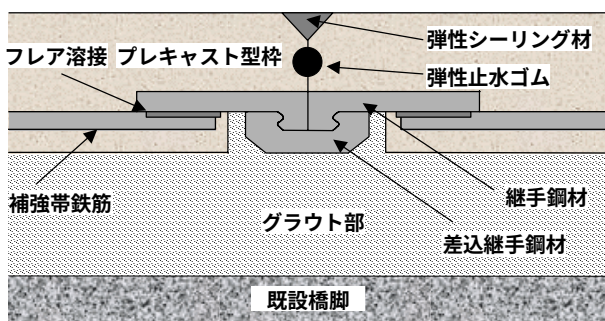


図-2 プレキャストパネル接合部の詳細

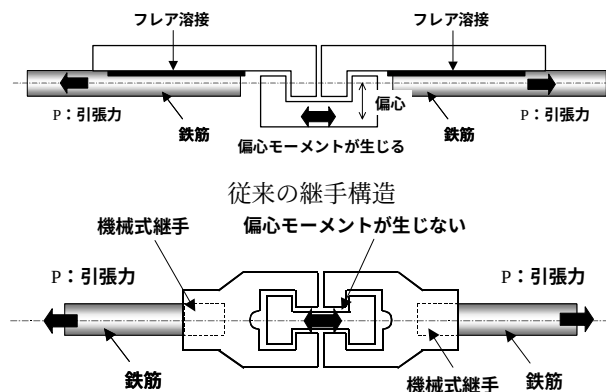


図-3 従来継手構造と提案継手構造の比較

2.2 提案型継手構造のメリット

提案新型継手鋼材は、従来型と比較して以下のような利点がある。

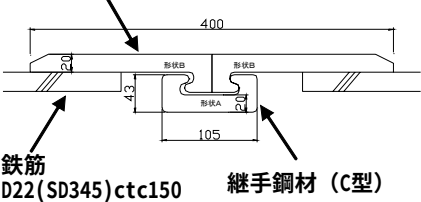
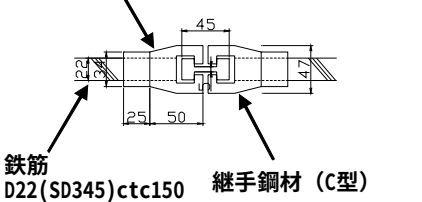
- ・偏心軸力が作用しない構造とし、部材寸法を縮小できる。
- ・鉄筋との接続をカプラー方式の機械式継手とし、溶接不要の構造である。
- ・溶接作業が省略化され、製造工期の短縮、製造コストの縮減に効果がある。
- ・新型継手鋼材の生産は量産可能であり、プレキャストパネルの製造工期短縮に効果がある。

2.3 継手鋼材の製造方法とコストの比較

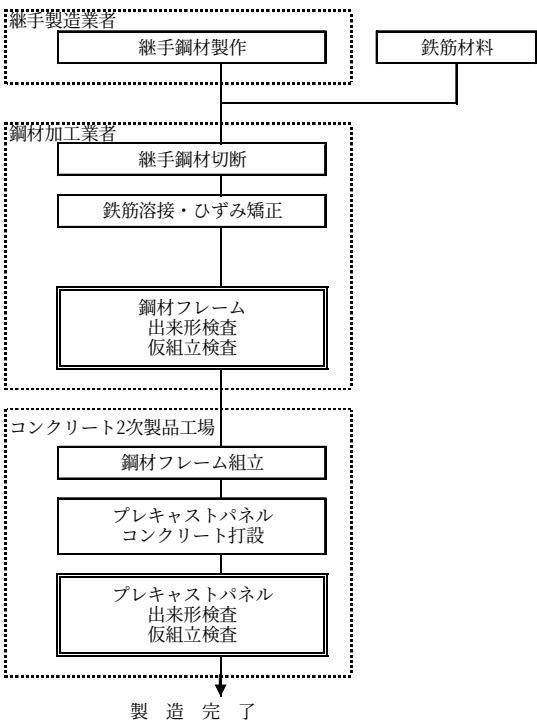
表-1に従来型継手鋼材と提案型継手鋼材の形状および製造方法と適用実績の比較を示す。また、図-4には同継手鋼材を用いたプレキャストパネルの製造工程の比較を示す。これによると提案型継手構造は従来型継手構造と比較して、製造工程が簡略化されていて、製造工程が短縮できることがわかる。

試算によると、新型継手鋼材を用いたプレキャストパネルの製造工期は3ヶ月程度であり、従来型に比べ1～2ヶ月程度の製造工期短縮効果があることが確認されている。新型継手鋼材を使用することで、プレキャストパネルの製造工期は3割程度短縮され、パネルの金額は2割程度、補強工事は10%程度削減されることがわかっている。

表-1 従来型継手構造と提案型継手構造の比較一覧

比較項目	従 来 型 継 手 構 造	提 案 型 継 手 構 造
断面形状	継手鋼材 (L型)  鉄筋 D22(SD345)ctc150 継手鋼材 (C型)	継手鋼材 (C型)  鉄筋 D22(SD345)ctc150 継手鋼材 (C型)
製造方法と適用実績	製造方法：熱間押出成型法 実績：複雑形状形鋼 (ゴンドラ用ガイドレール他)	製造方法： C型部材－ casting + 熱処理 H型部材－熱間鍛造 実績：シールドセグメントの コッタージョイントに適用

従来型継手鋼材の製造フロー



提案型継手鋼材の製造フロー

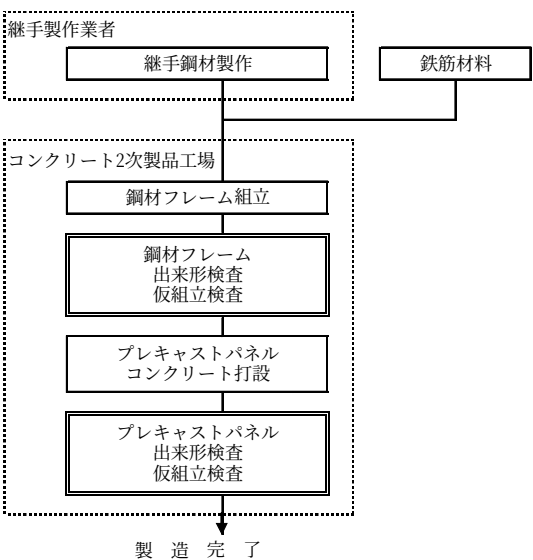


図-4 従来型継手構造と提案型継手構造によるプレキャストパネルの製造工程の比較

3. 新型継手鋼材の一軸引張性能

3.1 実験方法と試験体

新型継手鋼材の構造性能を検証するため、提案継手鋼材実大モデルを作製し、引張試験を行った。試験を行なった引張試験の概要を図-5に示す。試験は、帯鉄筋の設計降伏強度（SD345， $f_y=345\text{N/mm}^2$ ），鉄筋破断強度（ $f_u=600\text{N/mm}^2$ ）および設計降伏強度の2倍相当応力（ $\sigma=690\text{N/mm}^2$ ）の3段階の引張荷重を作用させ、引張荷重を保持できることを確認するとともに、継手鋼材に異常・変状が無いことを目視で確認した。

図-5に一軸引張試験の概要を、図-6に試験に用いた新型継手鋼材の試験体の概要を示す。本試験体は補強帯鉄筋 D25(SD345)が 100mm ピッチで配置された場合に対して設計されたものである。同試験体は帯鉄筋（SD345， $f_y=345\text{N/mm}^2$ ）が降伏するときに継手部材に発生する応力が許容応力度以下となるように設計されている。

3.2 試験結果

実験結果は設計想定荷重 ($P=506.7\text{mm}^2 \times 3 \text{ 本} \times 345\text{N/mm}^2=524\text{kN}$) をはるかに上回り、設計想定荷重の2倍以上の $P=1100\text{kN}$ まで荷重を載荷し、実験を終えた。実験結果の一覧を表-2に示す。試験の結果、すべての荷重段階において継手鋼材は荷重を保持し続け、除荷後の観察においても異常・変状は認められなかった。

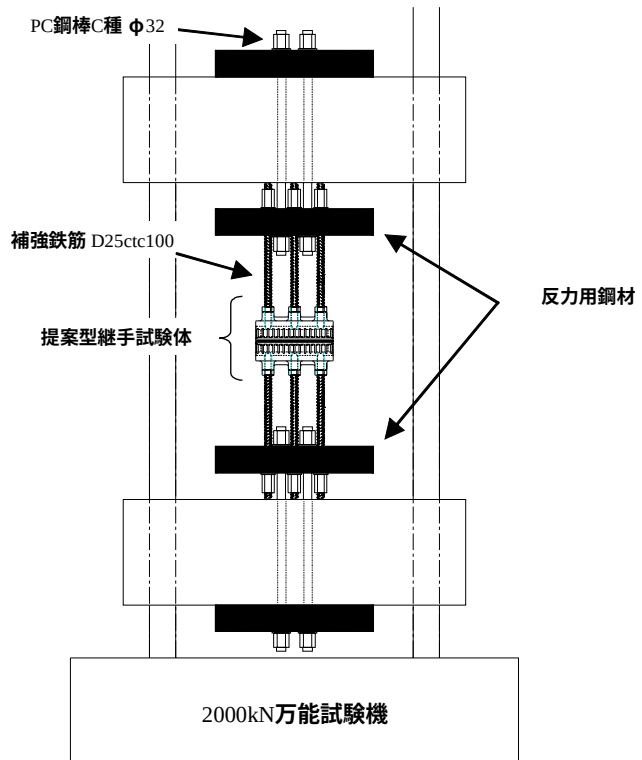


図-5 一軸引張試験の概要

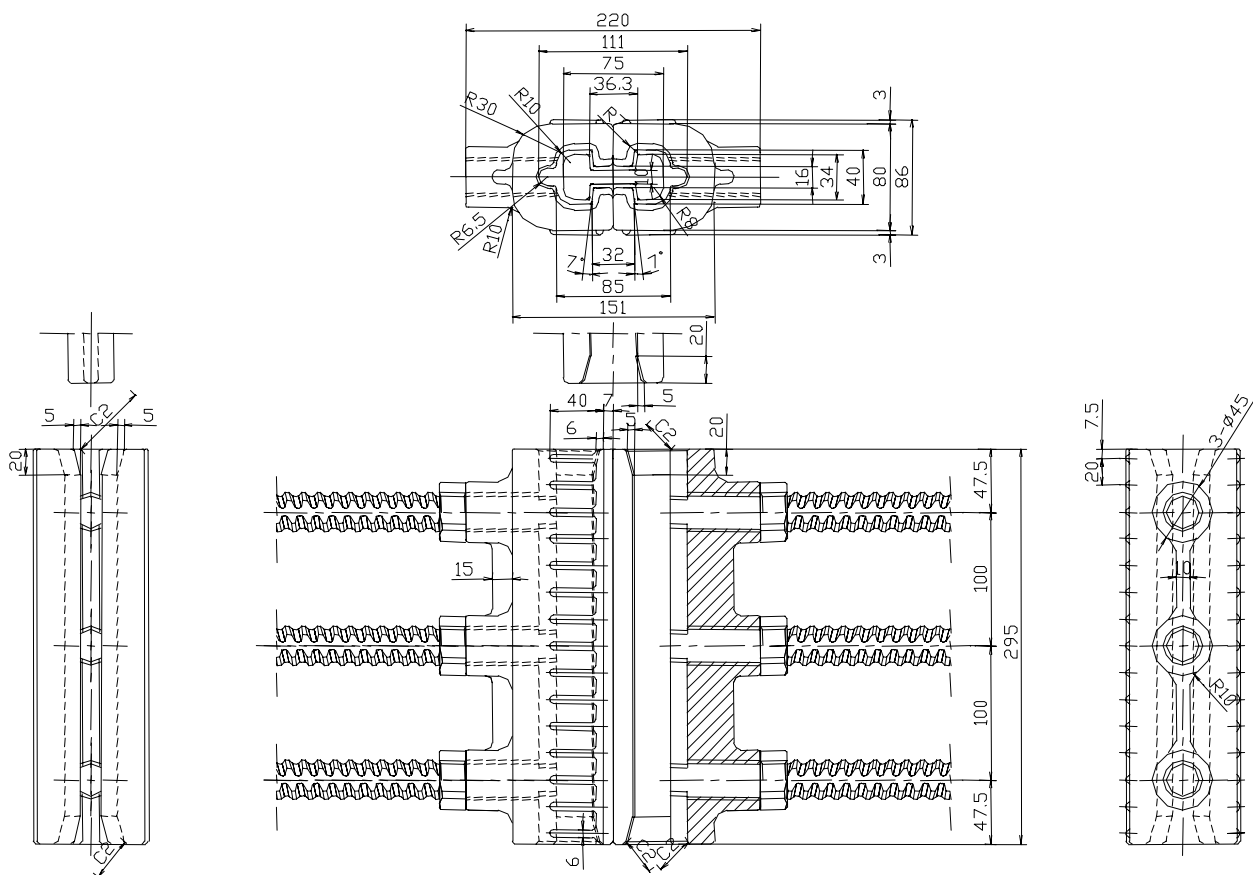


図-6 一軸引張試験に用いた試験体の概要

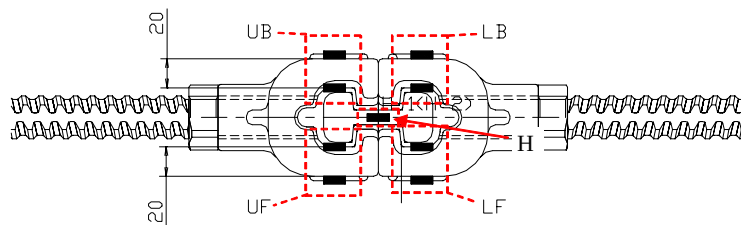
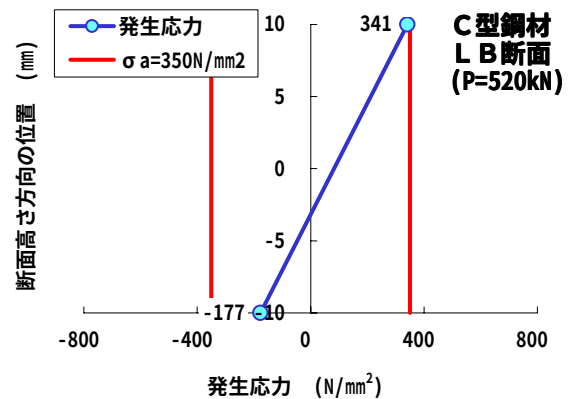
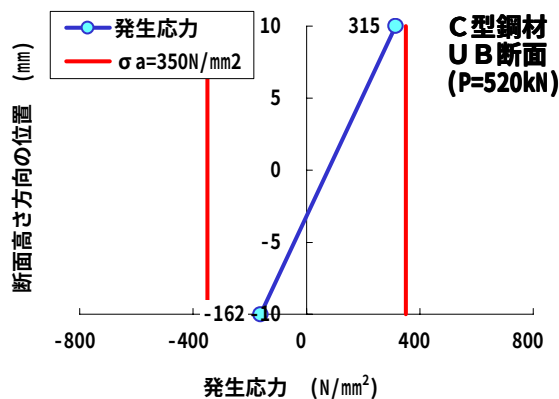
3.3 提案継手鋼材の発生応力

提案継手構造試験体にはひずみゲージを配置して、ひずみを計測している。ひずみの計測位置および設計想定荷重($P=520\text{kN}$)時の発生ひずみに弾性係数を乗じて求めた発生応力の分布を図-7に示す。また、同発生応力の計算値も同図に示す。ここで計算値とは、対象部位の断面に作用する鉄筋の引張力と同引張力による偏心モーメントから算出した曲げ引張および圧縮応力である。

図-7によると、継手鋼材各位置における発生応力は鋼材の許容応力度以下であり、安全に設計されたものであると言える。また、設計計算時に想定した許容応力度とほぼ対応していることから設計法が妥当であることが確認できる。

表-2 一軸引張試験結果

	設計想定荷重時	鉄筋破断相当荷重時	実験最大荷重時
引張荷重(kN)	520	921	1100
鉄筋応力(N/mm^2)	342	606	724
目視結果	異常・変状なし	異常・変状なし	異常・変状なし



H型鋼材の発生応力($P=520\text{kN}$)

$$\sigma = 178 \text{ N}/\text{mm}^2 < \sigma_a = 210 \text{ N}/\text{mm}^2$$

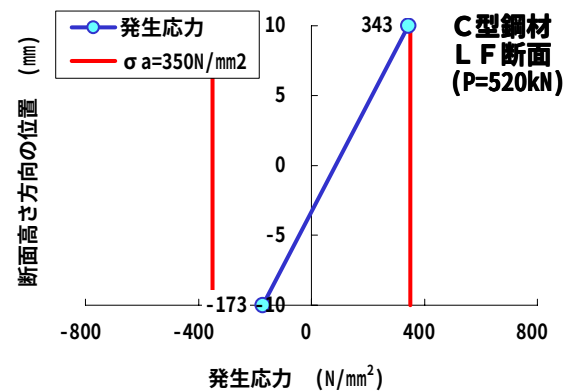
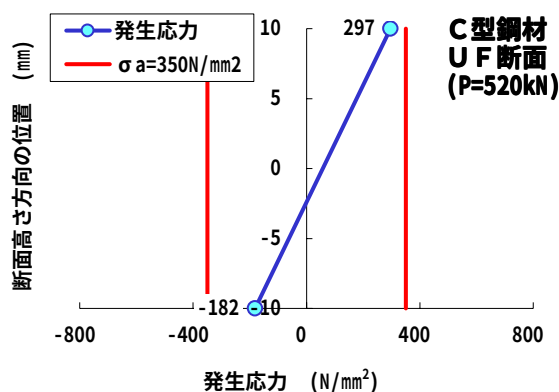


図-7 提案継手鋼材の発生応力(設計想定荷重 $P=520\text{kN}$ 時)

4. 新型継手鋼材を用いたプレキャストパネル補強柱の耐震性能

4.1 試験概要

(1) 試験方法

新型継手鋼材を用いたプレキャストパネルによる補強効果を検証するために、補強柱試験体の正負交番載荷試験を行った。載荷は、軸力として 2240kN（既設柱断面あたりの軸応力として $\sigma_n=3.5\text{N/mm}^2$ ）を作用・保持させるとともに、水平力を正負交番に載荷した。水平載荷は、まず予備載荷により橋脚基部における主鉄筋のひずみを測定し、実際の降伏変位を設定した。この降伏変位を $1\delta_y$ として、さらに本載荷として、図-8に示すように $1\delta_y$ の整数倍の水平変位をなるべく荷重を制御し、繰り返し回数3回で載荷した。

(2) 試験体の形状・寸法

正負交番載荷試験に用いた材料の物性値を表-3、表-4に示す。柱試験体の形状寸法は図-9に示すように、断面 $800\text{mm}\times 800\text{mm}$ の被補強柱を厚さ 80mm のプレキャストパネルで補強するものとした。また、試験体の仕様は表-5のとおりである。

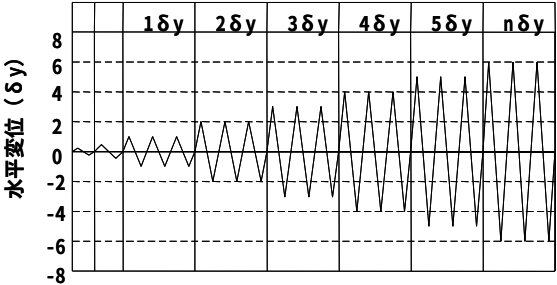


図-8 載荷スケジュール

表-3 コンクリートとモルタルの材料物性値

	圧縮強度 (N/mm ²)		弾性係数 (kN/mm ²)	
		Ave.		Ave.
既設柱部 コンクリート	40.6	39.4	32.1	30.7
	38.9		28.6	
	38.8		31.4	
プレキャスト パネル部 モルタル	73.5	73.5		
	73.9			
	73.0			
	56.7			
充填グラウト部	55.0	56.0		
	56.2			

表-4 鋼材の材料物性値

使用部位	鉄筋径	材質	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	降伏ひずみ (μ)
既設柱部	軸方向鉄筋	D25	SD345	377	560	189
	帯鉄筋	D13	SD345	373	558	188
既設 フーチング部	主筋	D32	SD345	391	573	195
	配力筋	D19	SD345	385	568	183
	スターラップ	D16	SD345	385	568	184
	帯鉄筋	D16	SD345	402	615	190

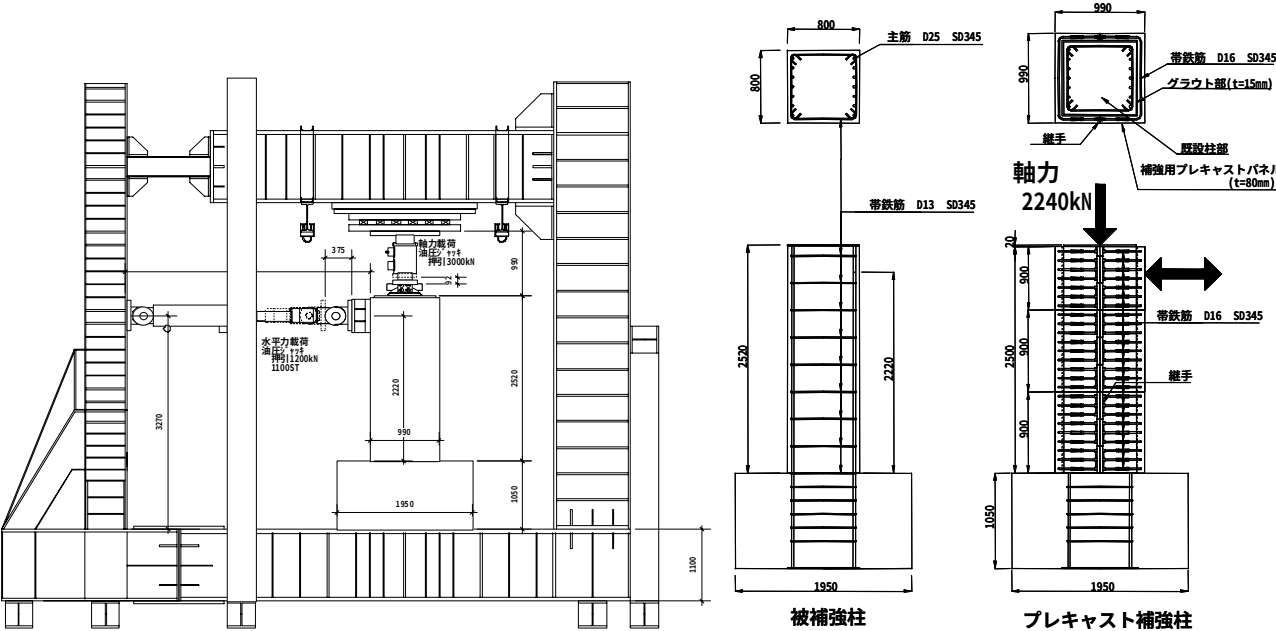


図-9 載荷試験の概要と試験体の形状寸法

表-5 試験体の仕様

被補強柱			プレキャストパネル		作用軸力	
形状寸法 (mm)	主筋 (SD345)	帯筋 (SD345)	形状寸法 (mm)	帯鉄筋 (SD345)	応力 (N/mm ²)	軸力 (kN)
断面 800×800 せん断角 $\angle$ 2200	7D25 $p_s=0.60\%$	D13ctc300 $p_{w0}=0.106\%$	$t=80\text{mm}$ コの字型 (充填厚さ 15mm)	D16ctc100 0.40%	3.43	2240

4.2 試験結果

(1) 実験結果一覧

表-6に実験結果の一覧を示す。ここで、表中の計算値とは、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 地震時保有水平耐力（Type II）」に準拠して算定したものである。

表-6 実験結果の一覧

	降伏		最大荷重 kN	終局変位 mm
	水平変位 mm	水平荷重 kN		
実験値(正側)	8.40 (1.91)	914 (1.09)	998 (1.16)	68.70 (1.91)
実験値(負側)	-8.40 (1.91)	917 (1.09)	-997 (1.16)	71.30 (1.98)
計算値 (道路橋示方書Type II)	4.39	841	860	36.05

※()内は計算値に対する比を表す。

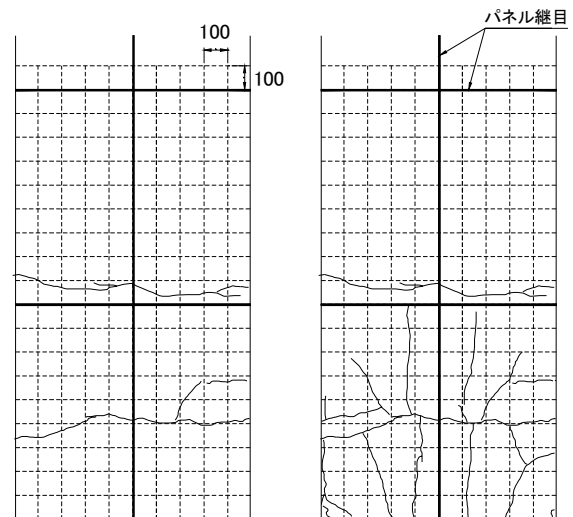
(2) 試験体損傷の進展

損傷の進展は以下のとおりである。荷重開始から水平荷重 250kN あたりで基部において初期ひび割れの発生が観察された。水平荷重 600kN あたりでは最下段プレキャストの中ほどの高さ(高さ 400mm 程度)に曲げひび割れが発生した。水平荷重 700~850kN あたりでは最下段と 2 段目のプレキャストパネルの水平目地(高さ 900mm)に曲げひび割れが発生した。また、700kN あたりでは斜めひび割れが観察され、その後の荷重に伴って進展した。正側荷重においては 914kN ($\delta y=8.4\text{mm}$)、負側荷重においては 917kN ($\delta y=8.4\text{mm}$)において主鉄筋が降伏し、それぞれ $\pm 8.5\text{mm}$ を降伏変位と定めた。3 δy 1 回目の荷重では基部に立てひび割れが観察された。5 δy 1 回目の荷重ではひび割れとひび割れを結ぶ細かいひび割れが生じ始め、隅角部のコンクリートに圧壊が観察された。その後の荷重に伴って、かぶりコンクリートの損傷が進展し、8 δy の荷重終了時にはかぶりコンクリートの剥落が顕著になり、補強帯鉄筋のはらみ出しが顕著になり、水平荷重が低下した。その後、荷重を継続したが 9 δy および 10 δy 荷重時のピーク荷重は著しく低下し、終局を迎えた。

図-10 に代表的なサイクルにおけるひび割れ図を、写真-1 に損傷状況の写真を示す。

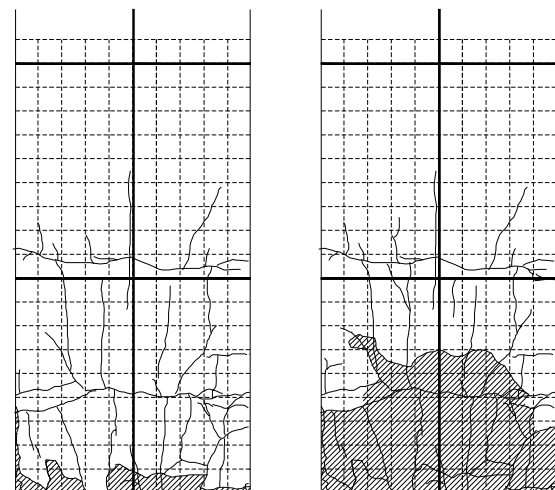
(3) 荷重-変位関係

図-11 および図-12 に、実験より得られた水平荷重-載荷点水平変位関係の履歴曲線および包絡線を示す。また、同図には「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 地震時保有水平耐力（Type II）」に準拠して算定した計算値も重ねて示した。実験結果は計算結果の耐力および変形性能を上回っており、本工法により補強された試験体は十分な耐震補強効果を有することが確認された。



1 δy 終了時

5 δy 終了時



7 δy 終了時

終局時

図-10 ひび割れ図（正側載荷時加力面）



写真-1 終局時の試験体の損傷状況

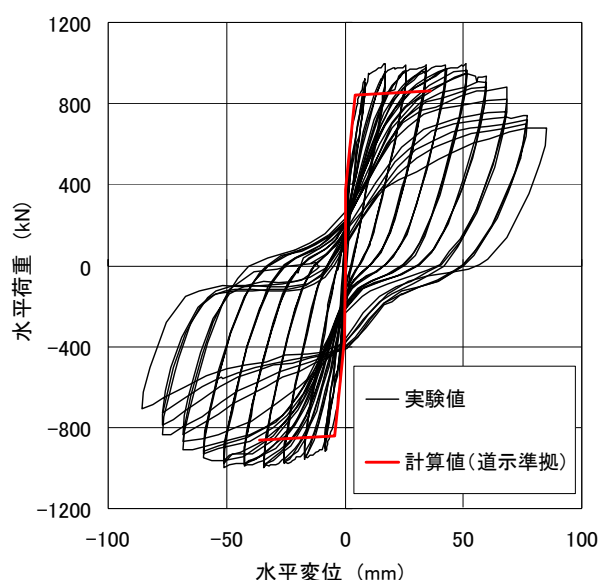


図- 11 水平荷重と載荷点水平変位の関係の履歴

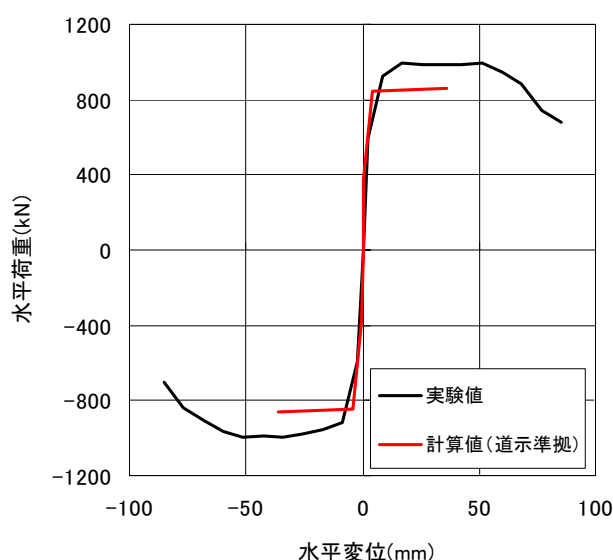


図- 12 水平荷重と載荷点水平変位の関係の包絡線

5. まとめ

PRISM 工法のプレキャストパネル製造工期の短縮と工事コストの削減を目的として、プレキャストパネルの新しい継手構造を提案した。本研究の範囲内で得られた結論を以下に示す。

(1) 新型継手鋼材の一軸引張性能

提案型継手鋼材のモデル試験体を作製し、引張試験を行った。実験は設計想定荷重($P=506.7\text{mm}^2 \times 3 \text{本} \times 345\text{N/mm}^2=524\text{kN}$)をはるかに上回り、設計想定荷重の2倍以上の $P=1100\text{kN}$ まで荷重を載荷したが、継手鋼材に異常・変状は認められなかった。また、設計想定荷重作用時($P=520\text{kN}$)の継手鋼材各位置における応力は設計時に想定した許容応力度とほぼ対応していることから、本構造が妥当であるとともに、設計手法が妥当であることが確認できた。

(2) 新型継手鋼材を用いたプレキャストパネル補強柱の耐震性能

新型継手鋼材を用いたプレキャストパネルによる補強効果を検証するために、補強柱試験体の正負交番載荷試験を行った。実験結果は「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 地震時保有水平耐力 (Type II)」に準拠して算定した計算結果の耐力および変形性能を上回り、本工法により補強された試験体は十分な耐震補強効果を有することが確認された。

6. おわりに

PRISM 工法に用いるプレキャストパネルの継手構造を提案した。各種構造実験を実施した結果、提案新型継手構造試験体および同補強柱試験体は十分な構造性能を有しており、その設計手法の妥当性も確認された。

今後、水中 RC 橋脚の耐震補強工事がさらに増加し、その形状も多様化することが予想されるが、従来型に対してその適用範囲が広く、さらに工期・コスト両面においても有利となる本新型継手鋼材の採用が望まれる。

謝辞：本実験を実施するにあたり、ユニタイト株式会社 山中氏ならびに宮田氏には多大なご尽力を賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1)小原孝之，鈴木顕彰，田畑稔，中原勝一：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
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編