

アフターボンドケーブルを用いた地下駐車場の施工

辻 英一*1・森田 秀喜*2・徳永 雄一郎*3・白濱 昭二*4

1. はじめに

袋町公園地下駐車場は、広島市内中心部における放置二輪車問題解消のため計画実施された地下駐輪施設である。計画は都心部の公園地下を有効に利用し、周辺地域の環境保全に対し充分配慮することが前提であった。そのため施設全体はほぼ完全な地下構造物とし、上部を緑地化するため大きな土かぶりを見込んでいる。地下の掘削をおさえ、一方で有効な地下空間を確保するため、頂版はプレストレスを導入したフラットスラブ構造とし、その緊張材にはアフターボンドPC鋼材を採用した。これは、アフターボンドPC鋼材が、アンボンド鋼材と同様の施工性で、PC鋼材とコンクリートとの間で付着のある通常のPC部材（ボンド部材）の性能が得られることと、地下構造物に対する耐食性のよさを考慮したためである。

アフターボンドPC鋼材の施工実績は、建築物の外壁のひびわれ防止に使用した例¹⁾のほか、大梁への使用例が数例ある。しかしながら、部材長さが40mを超える本格的な構造物への適用は、本工事が最初の施工例となるため、工事に際し、いくつかの性能確認試験を実施した。本報告は、これらの試験結果および現場でのプレストレスコンクリート工場の施工についてまとめたものである。

2. 工事概要

工事名称：袋町自転車等駐車場新築工事
 建設地：広島市中区袋町9-10
 発注者：広島市
 設計：広島市都市整備局建築部管轄第1課
 株式会社 安井建築設計事務所
 施工：砂原組・福井建設共同企業体
 PC工事 オリエンタル建設株式会社
 規模：地下1階
 延床面積 1968 m²
 構造：鉄筋コンクリート造
 PRCフラットスラブ構造（頂版）
 基礎：直接基礎（ベタ基礎）
 工期：昭和63年12月～平成元年10月
 使用材料：①コンクリート $F_0=240 \text{ kgf/cm}^2$
 ②鉄筋 SD 295 A, SD 345
 ③PC鋼材

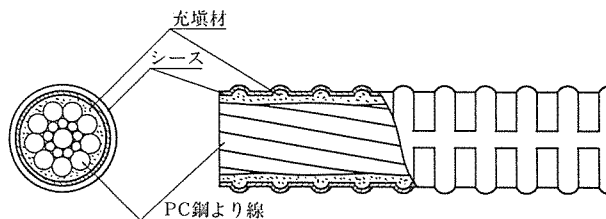
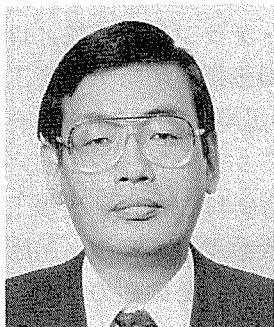
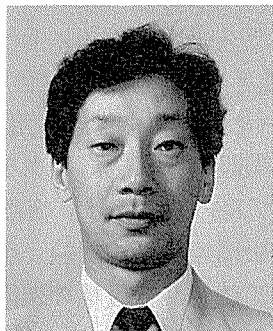


図-1 アフターボンドPC鋼材



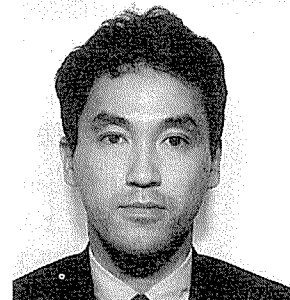
*1 Hideichi TSUJI
 (株)安井建築設計事務所
 構造部部長



*2 Hideki MORITA
 (株)安井建築設計事務所
 構造部統括主任



*3 Yuichiro TOKUNAGA
 オリエンタル建設(株)
 大阪支店建築部設計担当部長



*4 Shoji SHIRAHAMA
 神鋼鋼線工業(株)
 開発部

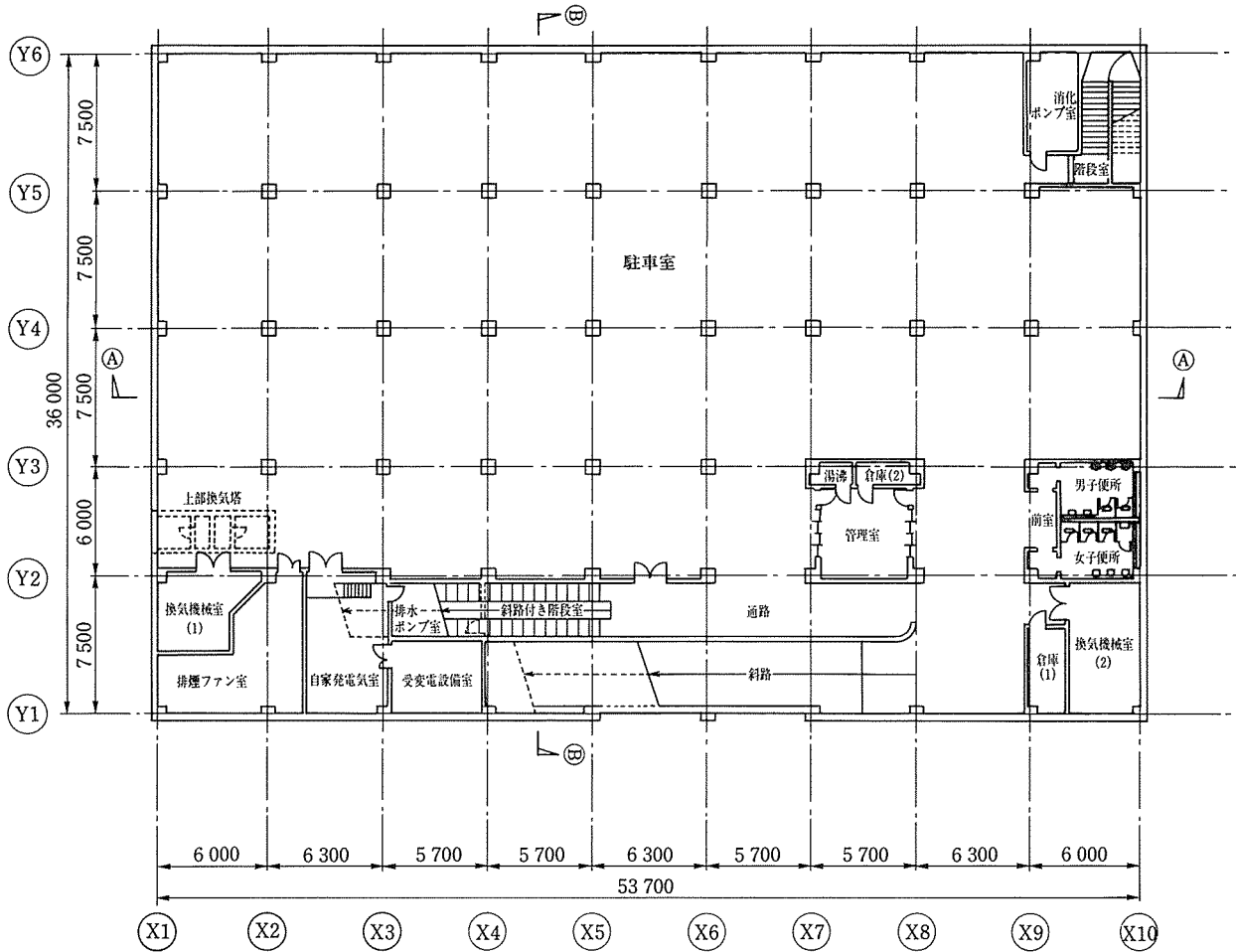


図-2 地下1階平面図

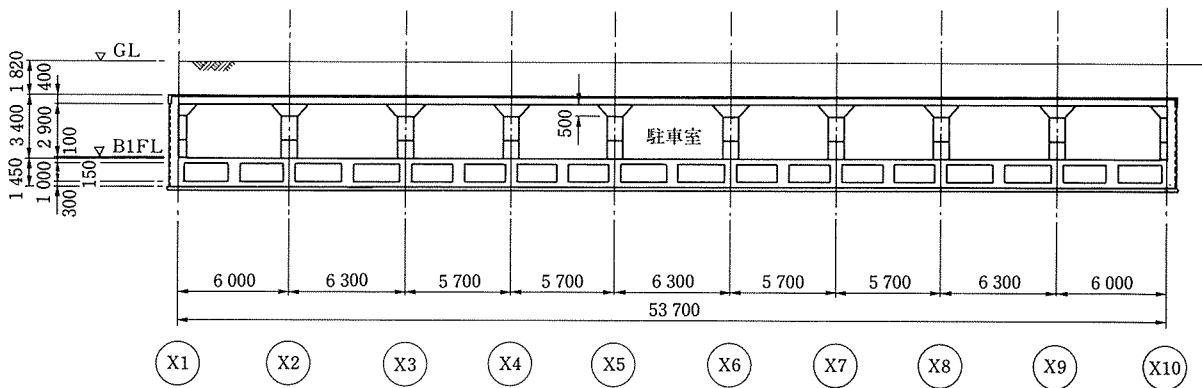


図-3 A-A 断面図

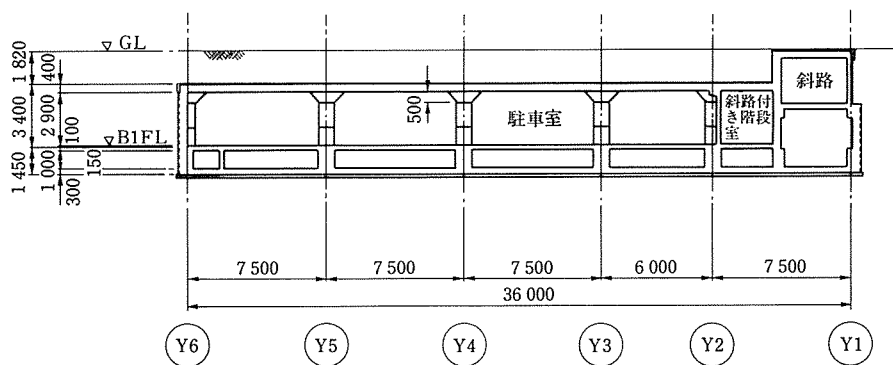


図-4 B-B 断面図

アフターボンドPC鋼より線 17.8 mm
(1年硬化タイプ)

④定着工法 CCL工法

アフターボンドPC鋼材²⁾は、図-1に示すように、PC鋼より線を表面に凹凸形状のあるポリエチレンシースで被覆し、PC鋼より線とシースとの空隙部に樹脂を充填したもので、充填材は時間の経過とともに硬化し、その硬化時間は樹脂の調合によりコントロールすることができる。したがって硬化時間をプレストレス導入時期

以降に設定しておけば、施工方法はアンボンド工法と全く同じで、一定期間経過後、充填材が硬化することによりボンド部材が得られる。充填材としてはエポキシ系樹脂が用いられている。

3. プレストレスに関する設計と施工の概要

本駐輪場の地下1階平面図を図-2に、断面図を図-3および図-4に、PC鋼材の配線図および詳細図を図-5および図-6に示す。また、竣工後の本駐輪場上部の公

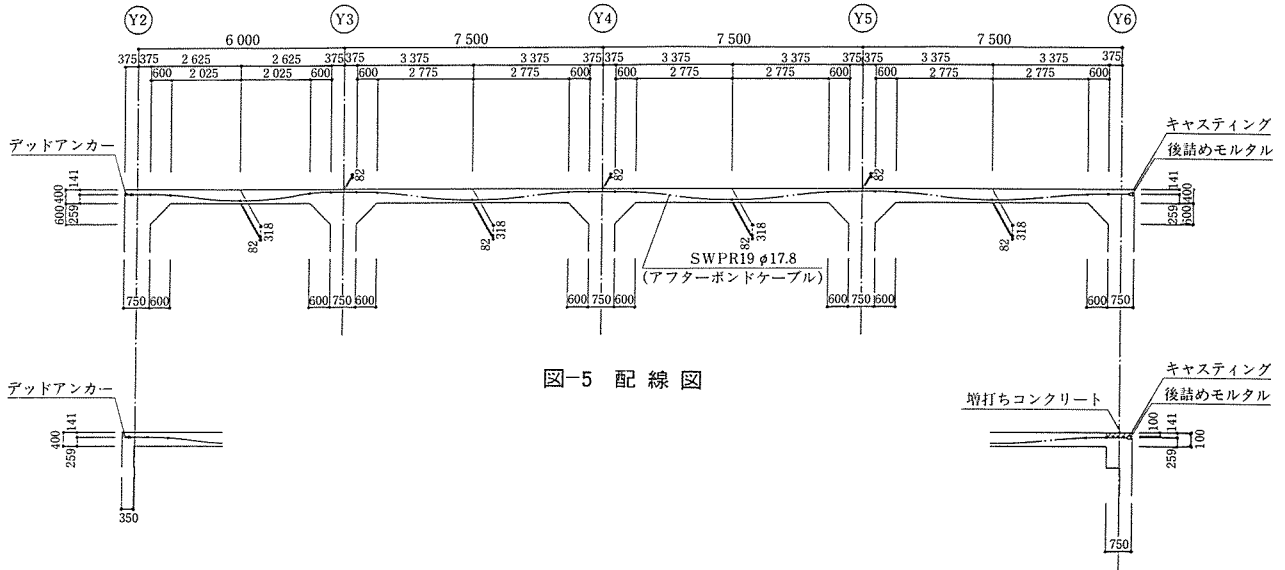


図-5 配線図

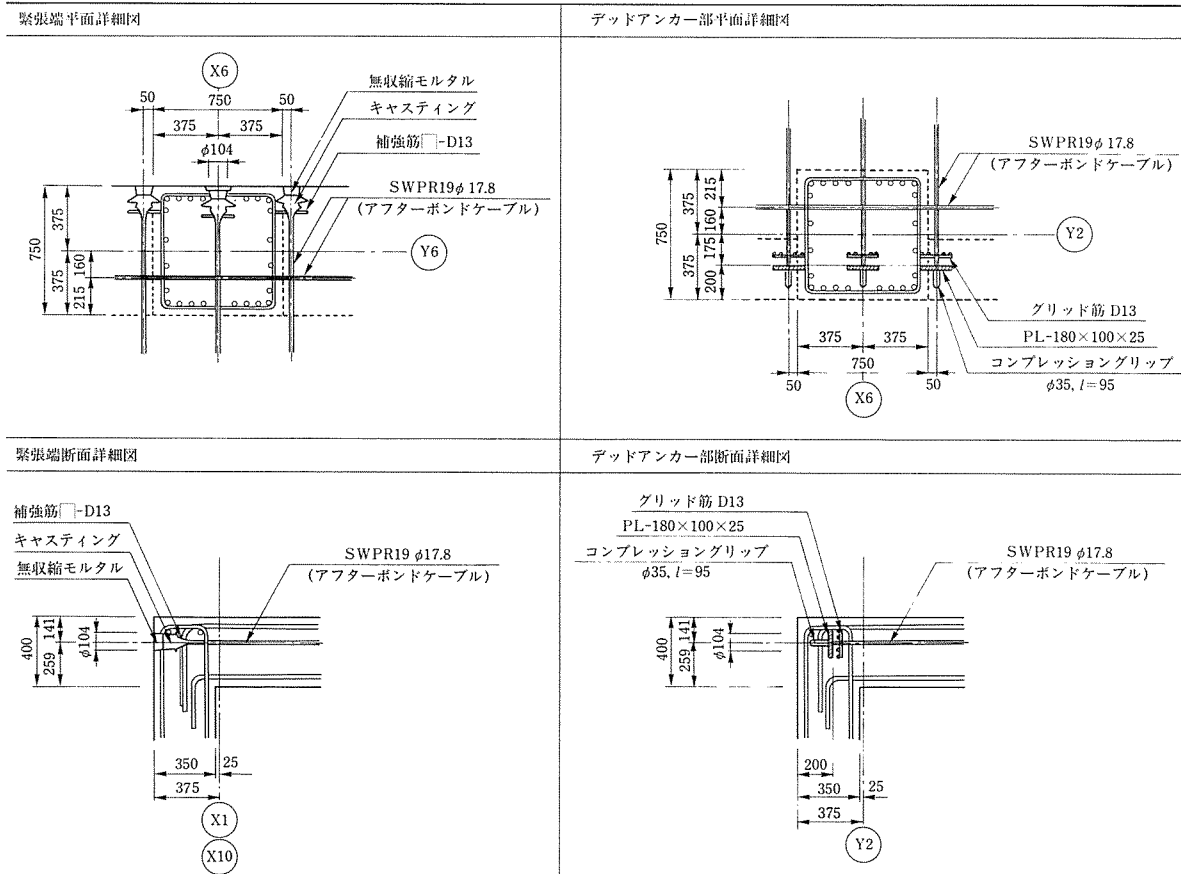


図-6 詳細図

園を写真-1に、駐輪場内部の様子を写真-2に示す。

プレストレストフラットスラブに関する設計概要を次に示す。

応力解析：ACI code 318-77（トータルモーメント法）および RC 規準 p. 112～p. 120

導入力の計算法：キャンセルモーメント法
キャンセル率 0.329 以上

PC 部材種別：Ⅲ種 PC ひびわれ幅 0.2 mm 以下

有効プレストレス量：5 kgf/cm²（柱間帯）
10 kgf/cm²（柱列帯）

プレストレス導入の施工手順を簡単に示すと、次のようである。

- ① スラブ型枠を組み、下端筋を配筋する。
- ② 緊張端定着具を、型枠に取り付ける。
- ③ PC 鋼材の位置決めおよびライズの確保のため、スペーサー（保持金具）を配置する。
- ④ アフターボンド PC 鋼材を配線し、スペーサーに固定する（写真-3 参照）。
- ⑤ 上端筋を配筋し、コンクリートを打設する。
- ⑥ コンクリートの養生期間（2週間）を経て、所定の強度が確認された後、PC 鋼材の緊張を行い、定着する。なお、緊張時アフターボンド PC 鋼材の製



写真-1



写真-2

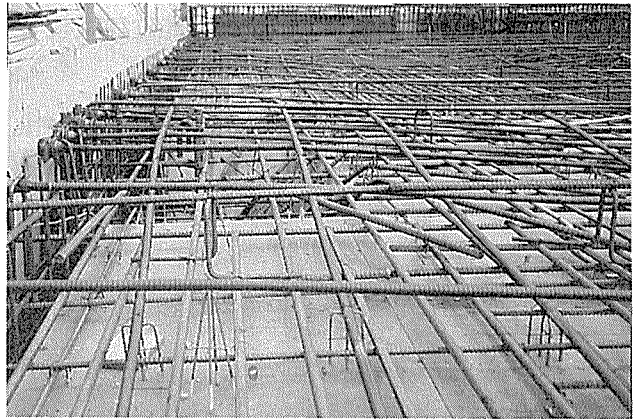
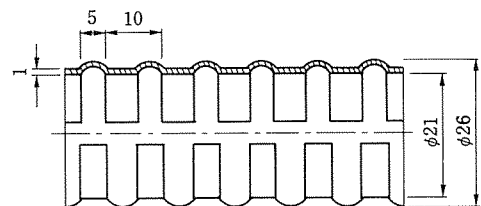


写真-3 アフターボンド PC 鋼材の配線状況

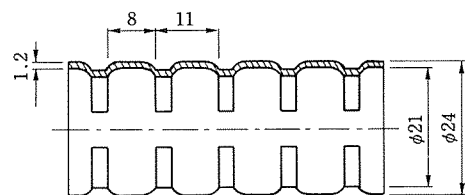
造からの日数は、約 45 日であった。

このうち、④の PC 鋼材の配線は 2 方向にわたり、かつ上下関係が部位によって入れ替わる。そのため、配線順序について入念に検討を行い、ライズの確保など設計どおりのプロファイルが得られるようにした。定着具、緊張工事および緊張管理方法は、通常のアンボンド工法と同一の方法で行った。

今回アフターボンド PC 鋼材を用いた特有の問題点は、シースの表面にある凹凸形状が、下端鉄筋の上にケーブルを展開して配線する際に、シース表面の平滑なアンボンドケーブルの場合と比較して大きな抵抗の要因となることであった。このため、鉄筋の上を長い距離にわたって引きずると、シースの凸部が摩耗してピンホールが生じた。この対策として配線はクレーンを使用するなどしてシースを破損しないように注意し、配線後は十分に点検し、破損部はビニールテープを巻いて補修した。シースの表面形状に関しては、このような状況を考慮して、凸部の長さを長くし、また厚さを厚くするなどの改良を行った。本工事および本実験で使用したシースの形状を図-7 (a) に、改良後のシース形状を図-7 (b) に示す。



(a) 改良前



(b) 改良後

図-7 シース形状

4. アフターボンド PC 鋼材の性能確認試験

4.1 概 要

前述のようなアフターボンド PC 鋼材は本工事の前に数例の施工実績があったが、一度に製造・出荷する量が少なく、メーカーサイドもまだ量産体制には至っていなかった。そこでこれらの状況をふまえて、緊張時のケーブルの摩擦係数、コンクリートとの付着特性、充填材の硬化状況の確認および曲げ載荷試験を行った。これらの試験に使用した PC 鋼より線の機械的性質を表-1 に示す。

表-1 PC 鋼より線の機械的性質

呼び名	公称断面積 (mm ²)	単位重量 (kg/km)	引張荷重 (kgf)	降伏荷重 (kgf)	伸び	リラクゼーション (10時間%)
19本より 17.8mm	210.1	1651	42200	38800	7.4	0.5
JIS G 3536	208.4	1652	以上 39500	以上 33600	以上 3.5	以下 3.0

4.2 摩擦係数測定

摩擦係数の測定は、直線および曲線配置のアフターボンドケーブル各1本ずつについて行った。曲線配置の場合は実際のアフターボンドケーブルをそのまま使用し、直線配置については、実際のケーブルに直線配置のものがないため、摩擦係数測定用として別途配線した。

測定は、図-8 に示すように、固定側と緊張側にロードセルをセットし、緊張時の両者の荷重を読みとることにより行った。測定状況を写真-4 に示す。この結果より次の式を用いて摩擦係数を求めた。

$$P_x = P_0 \cdot e^{-(\lambda l + \mu \alpha)} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 P_x : 固定側荷重 (tf)

P_0 : 緊張側荷重 (tf)

λ : 長さによる摩擦係数 (1/m)

μ : 角度変化による摩擦係数 (1/rad)

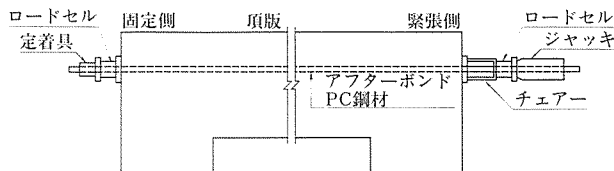


図-8 摩擦係数測定方法

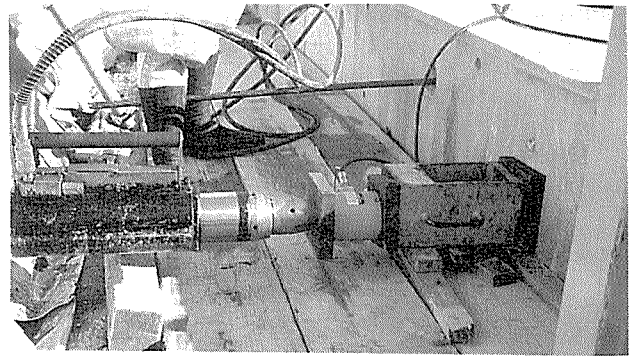


写真-4 測定状況

l : ケーブルの長さ (m)

α : ケーブルの角度変化 (rad)

直線配置の測定結果より、(1)式で $\alpha=0$ として λ を求め、この λ の値を用いて曲線配置の結果より μ を求めた。試験結果を表-2 に示す。

λ, μ ともにアンボンド PC 鋼材と同等の値を示しており、ケーブルの摩擦係数に関して、アンボンド工法と同様の設計および施工管理が行えることが確認できた。

表-2 摩擦係数測定結果

配線状況：直線配線 条 長：55.26 m		配線状況：曲線配線 角度変化：4.85 rad 条 長：55.41 m					
荷 重 (tf)	摩擦係数 (1/m)	荷 重 (tf)	摩擦係数 (1/rad)				
緊張側	固定側	緊張側	固定側				
28.5	25.2	0.0022	λ	28.3	20.9	0.037	μ

4.3 引抜き試験

アフターボンド PC 鋼材とコンクリートとの付着特性を調べるために、引抜き試験を行った。試験体一覧を表-3 に示す。この試験は充填材が十分に硬化したことを確認して行った。試験方法は図-9 に示すように、鋼材

表-3 引抜き試験用試験体一覧

試験体記号	試験体寸法 (H×B×L)	備 考
B- 400	200×200× 400	引抜き試験用
B- 600	200×200× 600	"
B- 800	200×200× 800	"
B-1000	200×200×1 000	"
U-1000	200×300×1 000	充填材の硬化状況確認用

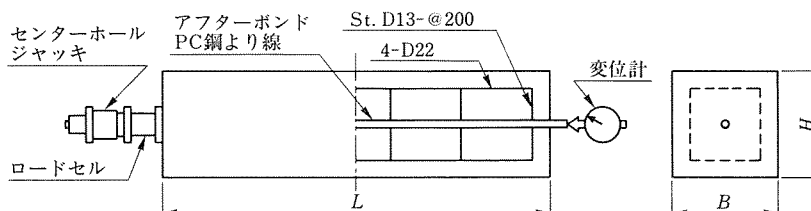


図-9 引抜き試験方法

自由端に変位計を、緊張端にロードセルとセンターホールジャッキを取り付け、緊張荷重と自由端のすべり量の関係を求めた。その結果より、すべり量のみ増加し、荷重がそれ以上増加しなくなる点を最大引抜き荷重とし、それを凸部を無視した充填材の表面積で除した値を平均付着強度とした。試験結果を表-4に示す。なお、試験体数は各1体とした。すべりは、いずれもシースと充填材との間に生じ、PC鋼より線と充填材の間には生じなかった。一般に異形鉄筋の引抜き試験では埋込み長さを長くすると平均付着強度が小さくなることが知られている。しかし、今回の試験結果では逆に試験体長が長いほど大きな平均付着強度を示している。これは異形鉄筋の場合、埋込み長さを長くしても、付着応力が一部に集中した分布となるのに対し、アフターボンドPC鋼より線では埋込み長さ80cm程度までは、全長にわたって均等な分布となるためであると考えられる。

表-4 引抜き試験結果

試験体記号	最大引抜き荷重 (kgf)	平均付着強度 (kgf/cm ²)
B-400	10 380	39.3
B-600	17 060	43.1
B-800	30 780	58.3
B-1000	>33 600*	>50.9

* 鋼材の降伏荷重まで引っ張っても拔出しが生じなかった。

表-4によると、平均付着強度は36-53 kgf/cm²と、大きな値を示した。被覆のない太径PC鋼より線とグラウトとの付着特性に関する既往の研究³⁾によると、埋込み長さ500~1000mmにおいて付着強度32~37 kgf/cm²となっており、アフターボンドPC鋼より線は、それより大きな付着強度を有することになる。

4.4 充填材の硬化状況確認試験

本構造物に使用されたアフターボンドPC鋼材の充填材の硬化状況を確認するため、引抜き試験の埋込み長さ1mと同様の試験体を製作し、製造後2か月、4か月、6か月および12か月後に引抜き試験を行った。その結果を表-5に示す。この結果から、充填材は4か月まではほとんど硬化が進行しておらず、6か月ではかなり硬化が進行し、12か月後にはほぼ完全に硬化しており、硬化がほぼ意図されたとおり進行したことが確認され

表-5 充填材の硬化状況確認試験結果

試験体記号	製造からの経過時間 (months)	最大引抜き荷重 (kgf)	平均付着強度 (kgf/cm ²)
U-1000	2	12* ¹	0.02
	4	165	0.22
	6	23 630	31.1
	12	>33 600* ²	>48.7

*¹ 荷重が小さいため、測定にはバネばかりを使用した。

*² 鋼材の降伏荷重まで引っ張っても拔出しが生じなかった。

た。

4.5 曲げ載荷試験

アフターボンドPC鋼材を使用したコンクリート部材が、通常セメントグラウトを行ったPC(ボンドのある)部材と同様の力学的特性を示すことを、曲げ載荷試験により確認した。試験体一覧を表-6に示す。試験体ABはアフターボンドPC鋼材を使用したもので、試験時において充填材は硬化状態にあり、コンクリートと鋼材間には付着を有する。試験体GBは金属製のスパイラルシースを用い、セメントグラウトを施した通常のボンドのある部材で、試験体UBはアンボンドPC鋼材を使用したものである。なお、試験体ABの充填材の硬化を促進させるために、試験体に蒸気養生を行った。この際、試験時に試験体間でコンクリート強度に大きな差がでないように、他の試験体についても同時に蒸気養生を行った。また、すべての試験体は同一バッチのコンクリートで製作したものである。

表-6 曲げ載荷試験用試験体一覧

試験体記号	緊張材	試験時ボンドの有無	試験体数
AB	アフターボンドPC鋼より線 φ17.8mm	ボンド有	2
GB	PC鋼より線 φ17.8mm + セメントグラウト	ボンド有	2
UB	アンボンドPC鋼より線 φ17.8mm	ボンド無	2

試験体は図-10に示すような矩形断面の単純梁で、支点間距離2100mm、載荷点距離700mmの3等分2点載荷とした。緊張材種類間における試験体の挙動の差を明確にするため、スパン中央部のせん断力の作用しない部分は無筋とした。載荷方法は、まず初びわれが発生するまで単調増加で載荷を行い、びわれが発生した時点で除荷し、その後載荷荷重を順次びわれ発生荷重の

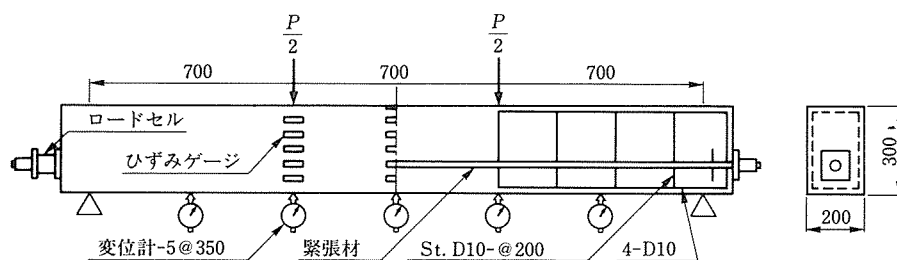


図-10 載荷試験方法

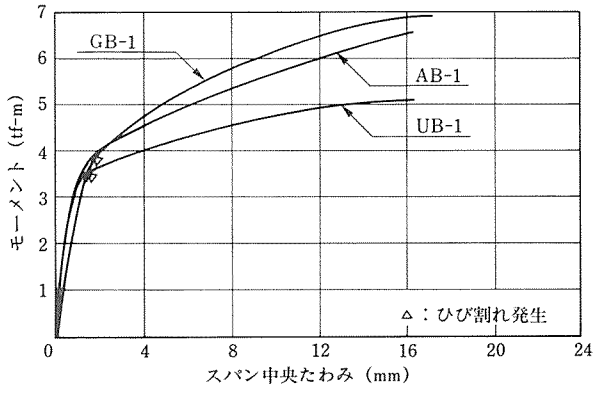


図-11 モーメント-スパン中央たわみ

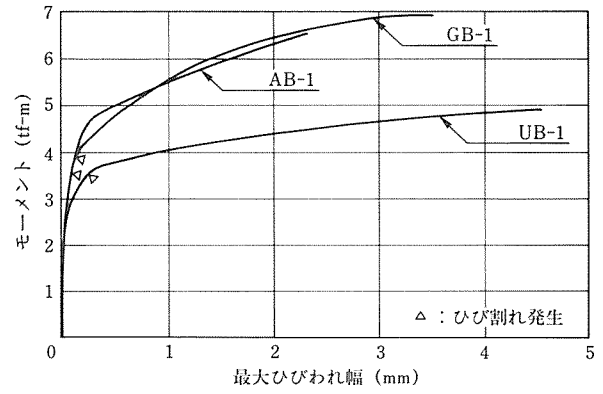


図-12 モーメント-ひびわれ幅

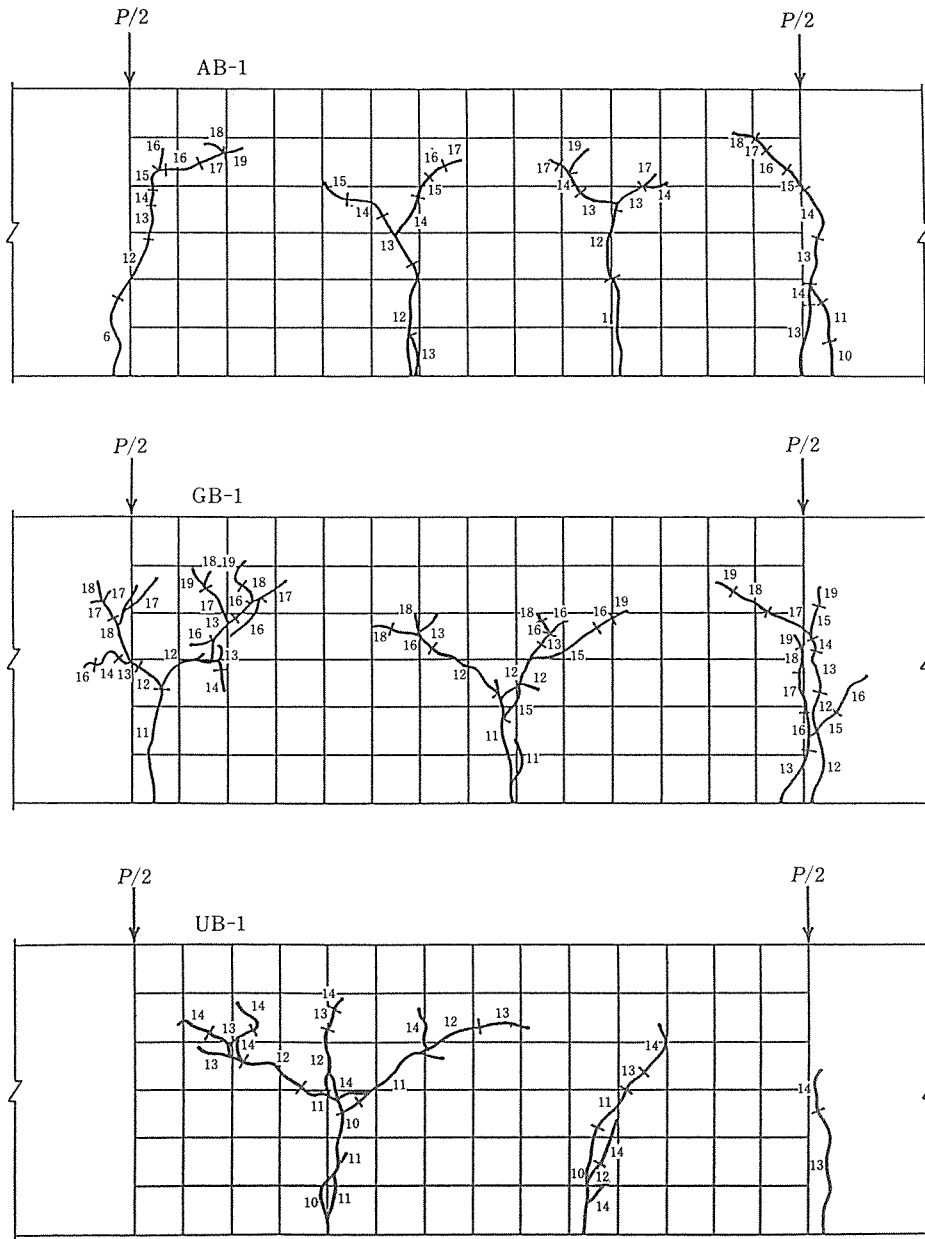


図-13 ひびわれ図

表-7 曲げ載荷試験結果

試験体記号	試 験 時			ひびわれ発生 モーメント (tf-m)		終 局 モーメント (tf-m)		破壊形態
	緊 張 力 (kgf)	下縁応力 (kgf/cm ²)	コンクリート強度 (kgf/cm ²)					
AB-1	24 840	82.8	370	3.50	3.59	6.56	6.41	上縁圧壊
-2	21 860	72.9		3.68		6.25		
GB-1	23 360	77.9		3.85	3.50	6.93	6.78	
-2	24 210	80.7		3.15		6.62		
UB-1	23 960	79.9		3.50	3.50	5.16	5.13	
-2	19 530	65.1		3.50		5.09		

* 緊張力は試験体と定着具の間に取り付けたロードセルにより測定したもの。

1割ずつ上げて、載荷・除荷を試験体が破壊するまで繰り返す、漸増載荷とした。ひびわれ幅の測定は、ひびわれ発生後除荷した時点で、ひびわれ発生位置にコンクリート表面変位計を貼って行った。

各試験体のひびわれモーメントおよび終局モーメントを表-7に示す。ひびわれモーメントは3種類の試験体でほとんど差がみられない。また、終局モーメントについては、ABはGBとほぼ同等の値となっており、ABがGBと同様の付着特性を有していることを示している。また、UBはGBと比較して25%程度終局モーメントが小さくなっている。これらの結果は、解析的に知られている性状と一致している⁴⁾。

図-11に載荷モーメントとスパン中央部のたわみの関係を表した履歴曲線の包絡線の一例を示す。付着のないUBは、ひびわれが発生した荷重以降で急激にたわみが大きくなっているのに対して、ABはGBと同様な緩やかな曲線を描いている。

図-12に載荷モーメントと主ひびわれのひびわれ幅の関係を表した履歴曲線の包絡線の一例を示す。これもUBはひびわれ幅の増加が急激なのに対して、ABはGBと同様なひびわれ幅の緩やかな増加傾向を示している。図-13にひびわれ図を示す。なおAB-2、GB-2、UB-2のひびわれ数は、それぞれ5本、4本、2本であった。

ABは、GBと同様にUBと比較してひびわれが分散する傾向がみられ、図-12の結果と合わせて、ABは

GBと同等の曲げ性状を有している。

5. ま と め

今回初めて量産化されたアフターボンドPC鋼材を実用化したが、ケーブルの移動抵抗が大きいことを除けば、アンボンド工法と同様に取り扱うことができた。また、今回行った調査結果より、アフターボンドPC部材は、アフターボンド工法と同様な施工性の簡便さを持ちながら、力学的には通常のグラウトを施したPC部材と同等の性状を有することが確認された。

最後に、本構造物の設計と施工に関してご指導をいただきました大阪大学鈴木計夫教授と、多大なるご理解をいただきました広島市および砂原組・福井建設共同企業体の皆様に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 辻, 保田, 徳永, 南: PRC梁とX形配筋柱を用いた中層事務所ビルの設計, プレストレストコンクリート, 1989.9, pp. 32~42
- 2) 材寄, 南, 小林: アフターボンドPC鋼材の諸特性について, プレストレストコンクリート, 1990.7, pp. 91~98
- 3) 田中, 荒木: 太径PC鋼より線とグラウトとの付着特性, 土木学会第34回年次学術講演会講演概要集 V-190, 1979.10
- 4) 日本建築学会: プレストレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種PC)構造設計・施工指針・同解説, pp. 63~68

【1991年10月8日受付】