

# アウトケーブルを用いたPCブロック T桁橋の補修設計

大阪管理部 調査設計課 中村 登明

## 要 約

PC桁の補修や補強としてアウトケーブルを配置する方法は耐荷力の不足した既設の橋梁に対して有効な手段のひとつである。

点検で、環状線のPCブロックT桁橋のブロック継目で縁切れしている箇所が見つかり、さらに調査した結果一般通行車輛の通過時に、ブロック継目部が、開閉挙動していることが判明した。

そこで、実橋において載荷試験等もおこない、残存プレスト量の確認や各種の検討を実施し、補修設計を行ったので、ここにその概要を報告するものである。

アウトケーブルを用いた、PC桁の補修例は極めて少なく、補修設計の妥当性を確認するため、模型による静的載荷実験も実施したので、その結果もあわせた報告するものである。

## まえがき

昭和63年1月の環状線通行止め補修工事に関連して、環S-174、176の2径間の損傷状況調査が実施された。その時の外観損傷状況は、間詰コンクリートおよび主桁下フランジからの遊離石灰の滲出が主なものであったが、S-174 G<sub>0</sub>桁のブロック継目の1箇所に縁切れが発見された。

昭和63年9月より両スパンに全面足場を架設し、ブロック桁の継目部に着目して、損傷状況調査を実施し、現況状態の把握および補修対策の検討資料を収集した。

その結果、S-174 G<sub>0</sub>桁の3ヶ所のブロック継目部において、ひび割れの挙動が感知され、 $\pi$ 型ゲ

ージによって昼間20分間にわたって測定したところ、最大0.3mm前後のひび割れの開閉が測定された。そこで、当該橋梁の補修を行う上で必要な残存有効プレストレス量を推定するために、車両重量40tの試験車2台を用いた、静的載荷試験を実施した。その結果、環S-174のG<sub>0</sub>桁は、約30%の緊張力が減少していることが判明した。

補修方法については、鋼板接着方式とアウトケーブル方式について検討した結果、信頼性、耐久性を考慮しアウトケーブル方式を、採用した。

PC桁橋でのアウトケーブル方式による補修実施例は少なく、各々の問題点、ケーブルの定着部、ケーブル支点のサドル部等を、模型による確認実験を行い、当該設計の妥当性と構造物の安全性を

確認した。以下に詳細を述べる。

## 1 象 対称橋梁の概要

本橋梁は、昭和41年に供用開始し、すでに24年間経過している橋梁でその構造形式は、ブロック工法によるPC単純T桁橋である。また当該現場は東横堀川（中央区島之内町）の市街地内の河川部という架橋位置の制約条件から、プレキャストブロック工法で架設されており構造一般図を図-1に示す。

構造諸元は以下のとおりである。

- 1) 形式：PC単純T桁橋
- 2) 桁長：26,935m～26,990m
- 3) 幅員：16,680m～17,105m
- 4) 桁高：1,700m

- 5) コンクリート強度：450kg/cm<sup>2</sup>
- 6) PC鋼材：縦締め 12-φ7mm  
横締め 12-φ5mm
- 7) 主桁本数：8本
- 8) 1主桁：5ブロック連結構成

## 2 現地載荷試験の概要および結果

### 2-1 現地載荷試験の概要

本橋梁区間は、南行き4車線道路となっているので、平日夜間にG<sub>6</sub>、G<sub>7</sub>桁上面に相当する追越側2車線規制を行って、40t試験車2台による静的載荷試験を実施した。測定はブロック継目の開閉挙動の確認されている。G<sub>6</sub>桁に主眼をおき実施した。

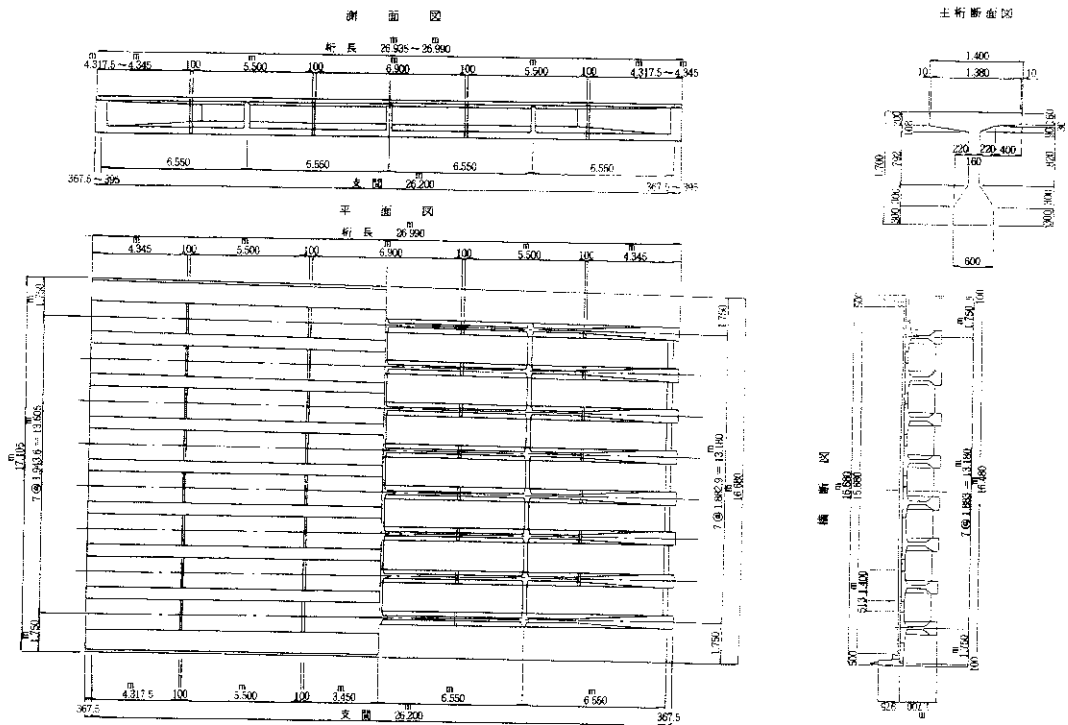
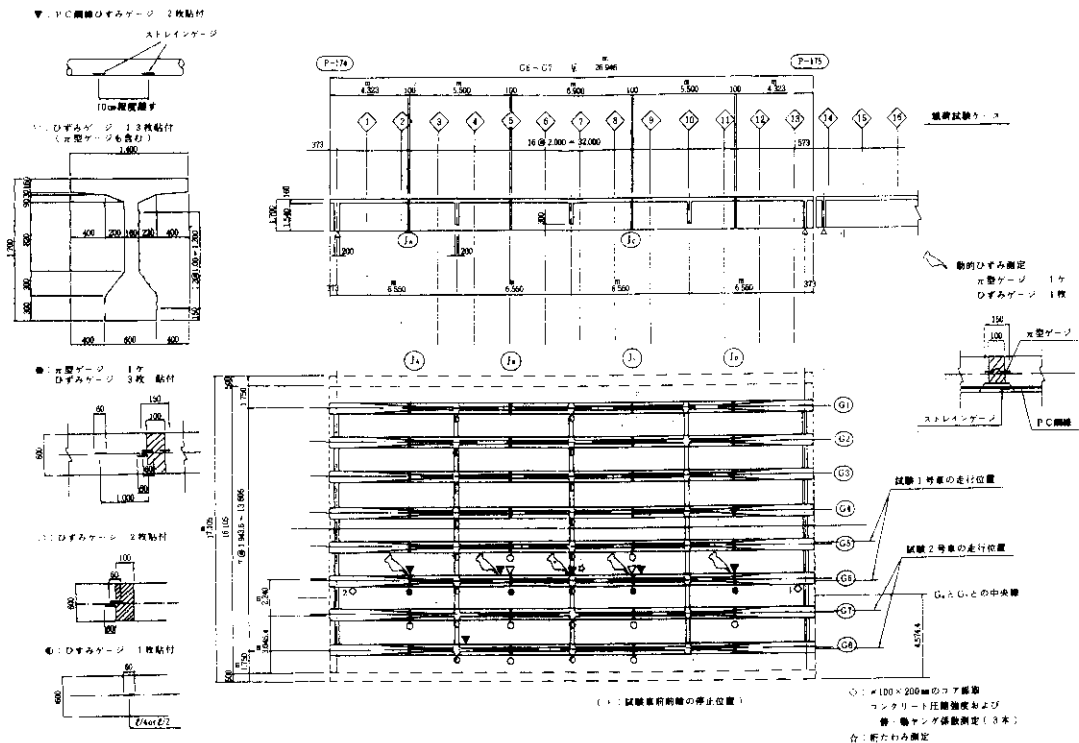


図-1 一般構造図

試験車荷重の横桁分配を検討するために、桁下面橋軸方向にひずみゲージを貼付けた。その他載荷

位置、測定項目を含め図-2に各桁の測定点位置図を示す。



## 2-2 載荷試験の結果

測定は、継目部の開閉量、主桁部、横桁部コンクリートひずみ量、 $G_6$ 桁PC鋼線を露出させての鋼線ひずみ量、桁たわみ量、コア採取によるコンクリート強度等々行ったが、本報告ではブロック継目部の開閉変化量、および残存プレストレス量について以下に報告する。

### 2-2-1 ブロック目地の変化量

載荷試験時のブロック目地の開閉量は、 $G_6$ 桁のJA、JB、JC、JDの4箇所、 $G_8$ 桁のJB、JCの2箇所については $\pi$ 型変位計を用いて測定した。各ブロック継目部の最大開き量については表-1に示す。

表-1 各ブロック目地部の最大開き量

	1台載荷				2台載荷				
	-G5	G6	G7	G8	G5	G6	G7	G8	
JA	変化量	-	0.138mm	30 $\mu$	-	-	0.184mm	45 $\mu$	-
	車両位置	-	1-5	1-5	-	-	2-5	2-5	-
JB	変化量	54 $\mu$	0.235	87	0.013mm	226 $\mu$	0.423	875 $\mu$	0.121mm
	車両位置	1-7	1-8	1-7	1-8	2-8	2-8	2-8	2-8
JC	変化量	16	0.216	54	0.018	24	0.353	253	0.134
	車両位置	1-9	1-11	1-11	1-9	2-11	2-11	2-11	2-10
JD	変化量	-	0.031	27	-	-	0.068	50	-
	車両位置	-	1-14	1-12	-	-	2-12	2-12	-

注)  $G_6$ 、 $G_8$ の開き量は、ダイヤルゲージ式変位計で測定したので変化量の単位はmmで表示されている。  
 $G_5$ 、 $G_7$ の開き量は、ひずみゲージで測定したので変化量は $\mu$ ( $\times 10^{-3}$ )で表示されている。

試験車 2 台載荷はG<sub>5</sub>～G<sub>8</sub>桁の 4 主桁上に並列に前輪位置を載荷ケースごとに合せ、ブロック目地の変化量を測定した。図-3

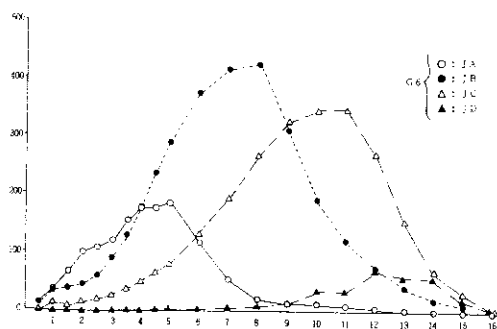


図-3 ブロック目地の変化量測定結果  
2 台載荷

### 2-2-2 残存有効プレストレス量

ブロック継目部のひび割は、大型車通過時に開くものの、通過後直ちに閉じる挙動を示すことから、G<sub>6</sub>桁は少なくとも死荷重に相当する。プレストが残存していることが判明した。よって、ブロック継目部のひび割れ再開荷重を求めることにより、残存プレスト量を算出した。

残存有効プレスト量は、表-2 に示すとおり、

表-2 残存有効プレストレス量の計算結果

	1台載荷	2台載荷	備 考
G 5 桁	0.714	0.754	
G 6 桁	0.668	0.690	
G 7 桁	0.758	0.814	
G 8 桁	—	0.833	

設計上の有効プレストレス量 $P_e$ に対する残存プレストレス量 $P_r$ の比率

約70%という結果になっている。

## 3 補修設計の各種比較検討

### 3-1 補修工法の選定

補修工法として次の方法があげられる。

○鋼板接着による補強

○アウトケーブルによるプレストレス補充

上記2案の比較検討したものを表-3に示す。

表-3 補強工法の比較検討

検討項目	鋼板接着	アウトケーブル補強
構造特性	断面剛性を増強するひびわれを制御できるが消去することはできない。	プレストレスを増強するひびわれを消去することができる。
施工面	制約条件に拘束されることが少ない。	コンクリートの供給方法に制約されることがある。
美 観	外観上・比較的スッキリしている。	補強ケーブルや定着ブラケットが外部に構築されるので外観上やや難点が残る。
設計上の留意点	現時点では設計方法が確立されていないひびわれの開閉挙動下では、鋼板に応力集中する可能性がある。	当方式は、各種施工法で使用されており設計上の問題点は少ない。ケーブルの定着方法については、検討が必要である。

鋼板接着工法は、当公団として現在実験もおこなって補修設計法の確立を目指しているところであるが、検討の結果アウトケーブルによる補強工法を採用した。

### 3-2 アウトケーブル定着方法の選定

アウトケーブルの定着方法として次の3タイプについて比較検討をおこなった。

○鋼製ブラケット方式

○コンクリートブラケット方式

○新設横梁方式

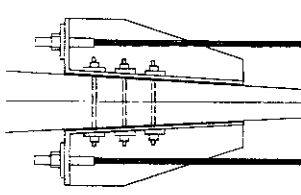
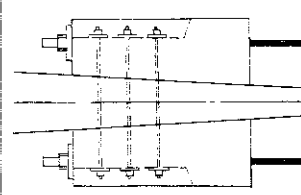
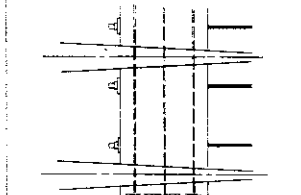
鋼製ブラケット方式は、他団体でも検討がなされ、これらを参考にして検討をおこなった。

コンクリートブラケット方式は、コンクリート標準示方書の規定により検討をおこなった。

新設横梁方式は、主桁間の新設のコンクリート横梁を設け、補強ケーブルを定着させる方式であり、英国規準 (BS5400) の規定を参考に検討した。

上記のいずれも主桁に緊結することが必要であり、検討結果を表-4に示す。

表-4 アウトケーブル定着方法比較表

定着方法	鋼製ブラケット	コンクリートブラケット	新設横梁
補強ケーブル仕様	主桁補強ケーブル 使用鋼材	所要緊張力 Pt=80 t F130T	引張荷重 Pu=126.0 t 降伏点荷重 Py=110.4 t
主桁腹部厚変化による緊結力割増係数=1.094			
定着部材の 所要緊結力	摩擦抵抗係数 $\mu = 0.5$ 安全率 $F = 3.0$ 面圧 $P \geq 40 \text{ kg/cm}^2$ 所要緊結力 $P_0 = 80 \times 3.0 \times 1.094 / 0.5 = 480 \text{ t}$ 使用鋼材 $\phi 32 \quad 95/110 \quad 8 \text{ 本}$	使用鋼材 $\phi 26 \quad 95/110 \quad 6 \text{ 本}$ せん断伝達耐力 $V_{cwd} = 318.2 \text{ t}$ $F = \frac{318.2}{126} = 2.53 > 1.2$	摩擦係数 $\mu = 0.7$ 安全率 $F = 1.5$ 使用鋼材 F270T 6本 緊張力 $P = 950 \text{ t}$ 構造系による損失 $\Delta P = 748 \text{ t}$ 使用状態安全率 $F = \frac{(950 - 748) \times 0.7}{80 \times 1.094} = 1.6$
			
緊張力	Pt=536 t	Pt=210 t	Pt=950 t
構造評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>○鋼とコンクリートの摩擦係数が小さいため緊結力が大となる。</li> <li>○ブラケット重量が重くなり桁下空間が狭いため取付作業が困難。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○コンクリートとコンクリートのせん断伝達耐力が大きいので緊結力は最も小さい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○既設構造の変形拘束が大きいので所要プレストレスに対する緊結力は大となる。</li> <li>○解析方法も不安定要素が多い</li> </ul>
	△	○	×
経済性	△	○	×
施工期間	○	△	△
判定	○	◎	×

検討の結果、コンクリートブラケット方式が相対的に有利と判断され、また施工面でも現地でもキサー車によるコンクリート供給が可能であることも考慮の上、コンクリートブラケット方式を採用することとした。

### 3-3 アウトケーブルの鋼材選定と補強量

載荷試験の解析結果からG-6桁（8主桁の6番目の桁）で約30%、他の桁の数個所で10%前後のプレストレス不足が判明している。

以上のことから、健全桁にとってオーバーストレスにならないことを検討した上で、橋梁全体に設計荷重に対する全プレストレス量の30%相当を補強することとし、全桁にアウトケーブルを配置

した。

また景観的な面から、構造的な検討の上耳桁の外側にはケーブルを配置しないこととした。

補強材としては

- メンテナンスフリーであること
  - 点検が容易であること
  - 中間横桁のケーブル角変化部で受ける支圧応力に耐えられる材料で被覆されていること
- などを考慮してSEEケーブル(F130T)を選定した。

## 4 実施設計

実施設計の補強構造図を図-4に示す

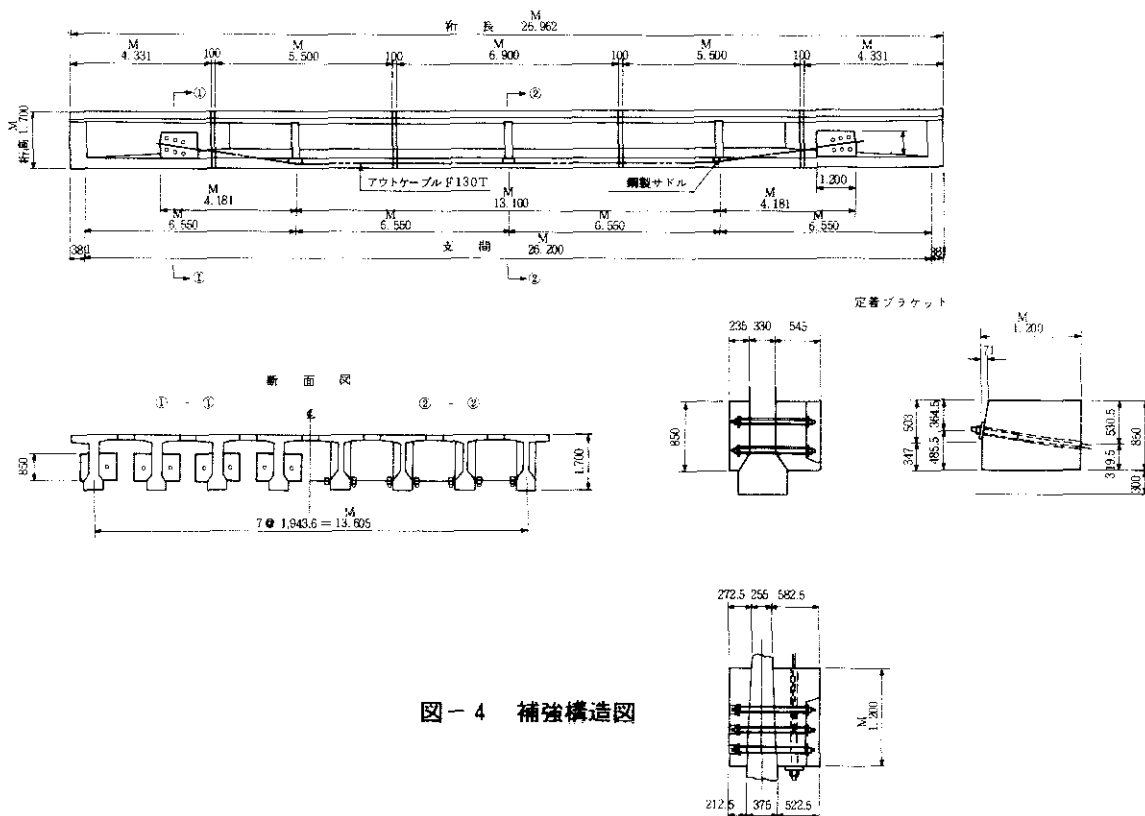


図-4 補強構造図

## 5 確認実験

コンクリートブラケットを主桁に緊結し、そこにアウトケーブルを定着してPCブロック桁橋を補修する実施例は少なく、設計方法の妥当性を確認することと、あわせて設計方法を確立させる目的から、模型による静的载荷実験をおこなった。

### 5-1 模型実験の目的

補強構造の安全性を確認する上で、次の2点に重点をおいて実験をすることとした。

(1)コンクリートブラケットの使用時・終局破壊時の安全性は当工法の最重要課題と考えられる。ブラケット形状と緊結用PC鋼材配置について実験により安全性の確認をおこなう。

(2)補強ケーブル量の算定は、使用時(活荷重載

荷時)について設計されている。補強後の破壊に対する安全度の回復程度を確認する。

### 5-2 ブラケットの破壊安全度に関する確認実験

供試体は補修設計の1/3に縮小したものでおこなった。

緊結力の相異(使用鋼材の相異)によるせん断伝達耐力への影響をあきらかにするため、3種類の鋼材径を使用した。

さらに補修設計では、PC桁の腹部厚が変化している位置でブラケットを設置しているため、その影響についてもあきらかにするため、同等のテーパーをもつ供試体も準備した。

供試体の仕様を表-5、载荷方法を図-5、実験結果を表-6に示す。

表-5 実験供試体

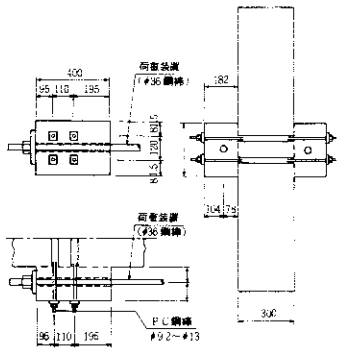
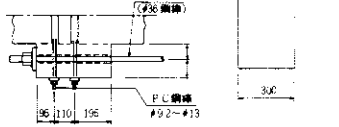

供試体 No.	緊結鋼棒	供試体形状寸法	推定せん断伝達耐力
No. 1	φ9.2 95/110  n = 4本		PC鋼棒 φ9.2 95/110 n = 4 $P_u = 7.31 \text{ t/本}$ $A_p = 66.48 \text{ mm}^2$ $P_t = 4.1 \text{ t/本}$ ( $\sigma_{pt} = 61.67 \text{ kg/mm}^2$ ) $\Sigma P_t = n P_t = 16.4 \text{ t}$ $(\sigma_n \cdot d = 14.5 \text{ kg/cm}^2)$ $A_c = 28.3 \times 40.0 = 1132 \text{ cm}^2$ $\mu = 2.106$ $V_{cwd} = 53.2 \text{ t}$
No. 2	φ11 95/110  n = 4本		PC鋼棒 φ11 95/110 n = 4 $P_u = 10.45 \text{ t/本}$ $A_p = 95.03 \text{ mm}^2$ $P_t = 5.9 \text{ t/本}$ ( $\sigma_{pt} = 62.09 \text{ kg/mm}^2$ ) $\Sigma P_t = n P_t = 23.6 \text{ t}$ $(\sigma_n \cdot d = 20.8 \text{ kg/cm}^2)$ $\mu = 1.919$ $V_{cwd} = 69.3 \text{ t}$
No. 3	φ13 95/110  n = 4本		PC鋼棒 φ13 95/110 n = 4 $P_u = 14.6 \text{ t/本}$ $A_p = 132.7 \text{ mm}^2$ $P_t = 8.3 \text{ t/本}$ ( $\sigma_{pt} = 62.55 \text{ kg/mm}^2$ ) $\Sigma P_t = n P_t = 33.2 \text{ t}$ $(\sigma_n \cdot d = 29.3 \text{ kg/cm}^2)$ $\mu = 1.536$ $V_{cwd} = 77.4 \text{ t}$

表-6 ブラケット破壊試験結果

項目	11月27日 試験(ストレートウェブ)				12月11日 試験(テーパウェブ)		
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
ブラケット形状	400×283	400×283	400×283	400×283	400×283	400×283	400×28
緊結鋼棒	SBPR95/110 φ9.2-4本 Pu=7.31ton/本	SBPR95/110 φ11-4本 Pu=10.45ton/本	SBPR95/110 φ13-4本 Pu=14.6ton/本	SBPR95/110 φ11-4本 Pu=10.45ton/本	SBPR95/110 φ9.2-4本 Pu=7.31ton/本	SBPR95/110 φ11-4本 Pu=10.45ton/本	SBPR95/110 φ13-4本 Pu=14.61ton/本
緊張力及び平均圧縮力	Pe=4.1ton/本 σc = 14.5kg/cm <sup>2</sup>	Pe=5.9ton/本 σc = 20.8kg/cm <sup>2</sup>	Pe=8.3ton/本 σc = 29.3kg/cm <sup>2</sup>	Pe=5.9ton/本 σc = 20.8kg/cm <sup>2</sup>	Pe=4.1ton/本 σc = 14.5kg/cm <sup>2</sup>	Pe=5.9ton/本 σc = 20.8kg/cm <sup>2</sup>	Pe=8.3ton/本 σc = 29.3kg/cm <sup>2</sup>
内部補強鉄筋	D13ctc65mm 	D13ctc65mm 	D13ctc65mm 	D13ctc110mm 	D13ctc65mm 	D13ctc65mm 	D13ctc65mm 
せん断伝達耐力	推定値 Ycxd=53.2ton (μ=2.106) 設計値 Ycxd=27.6ton (μ=2.106)	推定値 Ycxd=69.3ton (μ=1.919) 設計値 Ycxd=39.3ton (μ=2.106)	推定値 Ycxd=77.4ton (μ=1.536) 設計値 Ycxd=52.1ton (μ=2.006)	推定値 Ycxd=69.3ton (μ=1.919) 設計値 Ycxd=39.3ton (μ=2.106)	推定値 Ycxd=46.3ton (μ=2.106) 設計値 Ycxd=25.5ton (μ=2.106)	推定値 Ycxd=65.2ton (μ=2.056) 設計値 Ycxd=36.3ton (μ=2.106)	推定値 Ycxd=72.9ton (μ=6.123) 設計値 Ycxd=49.5ton (μ=2.062)
実験値	70.0ton	90.0ton	95.0tonで破壊せず	90.0ton	65.0ton	89.0ton	90.0ton
目視によるブラケットコンクリートの緑切れ荷重	40.0ton	40.0ton	40.0ton	30.0ton	40.0ton	43.0ton	40.0ton

注) せん断伝達耐力

推定値: 部材係数 $\gamma b$  (1:3) 及び圧縮応力度の低減などを考慮しない場合のせん断伝達耐力計算値

設計値: 部材係数 $\gamma b$  (1:3) 及び圧縮応力度の低減などを考慮しない場合のせん断伝達耐力計算値

$\mu$ : 摩擦係数

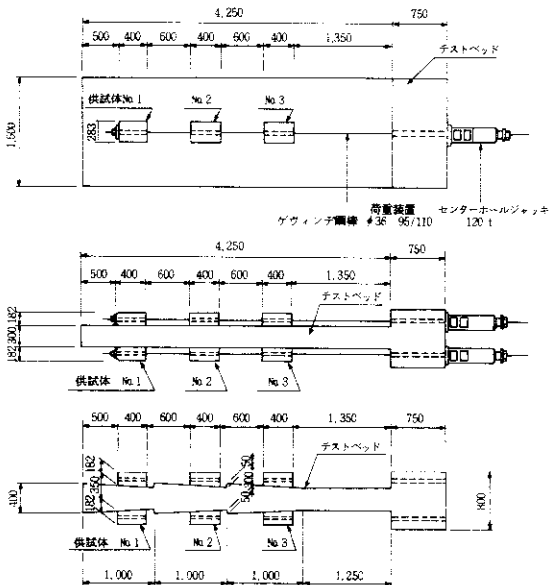


図-5 載荷方法

表-4 に計算値は、コンクリート標準示方書の「6、3、7 設計せん断伝達耐力」式により算定し、安全率を考慮しないもの(推定値)、考慮したもの(設計値)を示す。

結果は、推定値がかなりよく一致しており、3種類とも15~20 t 程度実験値の方が大きい。これは各供試体に配置したインサートボルト(M12-3本)を計算値で無視していることによるものと思われる。

またテーパウェブの影響は約10%減となっており、計算値ともほぼ一致している。

ブラケットに作用する荷重と変位量を図-6、



荷重と緊結鋼棒のひずみを図-7に示す。

図中に矢指されている荷重レベルが実施設計で使用されている補強ケーブルのA；引張荷重

B；緊張力相当を示す。十分に安全側で使用されていることが確認できる。

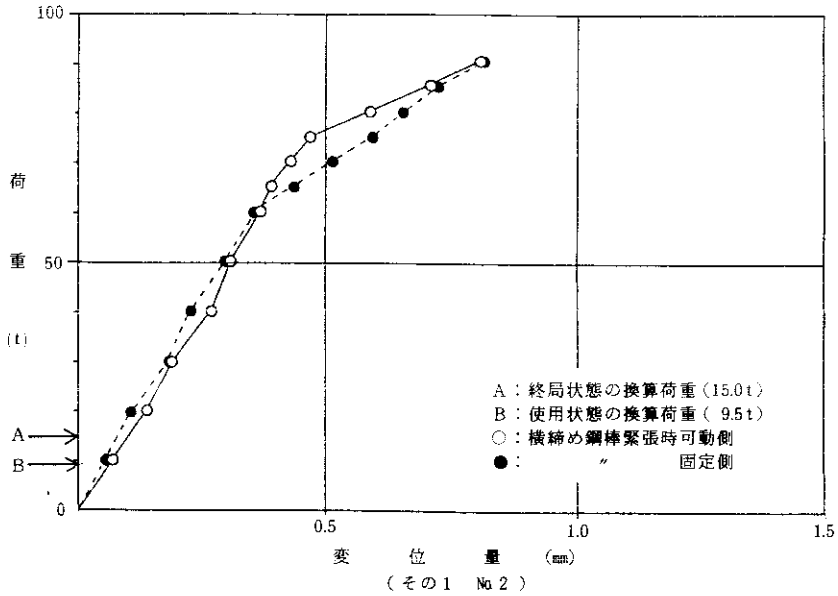


図-6 ブラケット破壊試験における荷重と変位量の関係

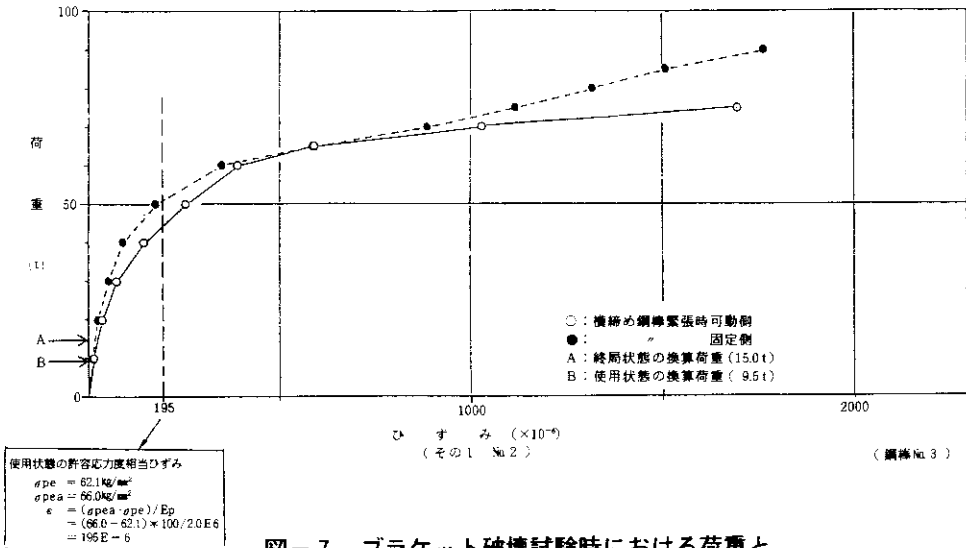


図-7 ブラケット破壊試験時における荷重と横締め鋼棒ひずみの関係

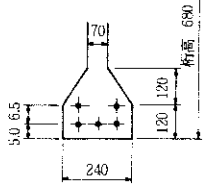
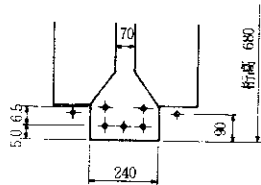
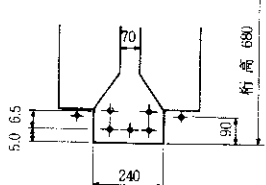
5-3 アウトケーブルによって補強された桁の破壊安全度に関する確認実験

実橋の詳細点検調査でグラウト充填度の不十分な箇所のあることが判明しており、当実験ではこ

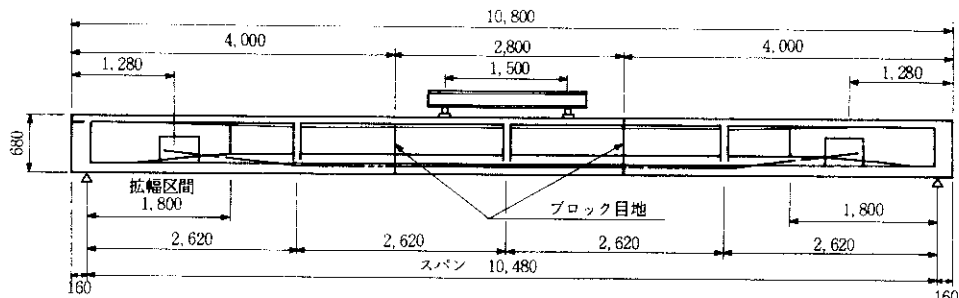
の点も考慮に入れて、次のような供試体を製作し実験をおこなった。供試体は実橋の1/2.5に縮小しておこなった。

供試体を図-8結果の一覧表を表-7に示す。

表-7 曲げ破壊安全度、試験結果

	基準桁	試験桁 No. 1	試験桁 No. 2
ケーブル配置 ● 付着あり ○ 付着なし	使用ケーブル SWPR7A IT15.2 	使用ケーブル 桁内 SWPR7A IT12.4(グラウト100%) アウトケーブル SWPR7B IT12.7 	使用ケーブル 桁内 SWPR7A IT12.4(グラウト0%) アウトケーブル SWPR7B IT12.7 
載荷前の応力度 a. スパン中央 b. ブロック目地	上線 42.9kg/cf 下段45.9kg/cf 上線 41.0kg/cf 下段47.9kg/cf	上線 42.9kg/cf 下段45.3kg/cf 上線 41.8kg/cf 下段47.9kg/cf	上線 42.9kg/cf 下段45.3kg/cf 上線 41.8kg/cf 下段47.9kg/cf
ひび割れ発生曲げモーメント a. スパン中央 b. ブロック目地 c. たわみ	31.2tm (載荷重 p=20.4ton) 24.4tm (載荷重 p=4.5ton) 8.7mm	31.2tm (載荷重 p=20.4ton) 24.4tm (載荷重 p=4.5ton) 8.7mm	31.2tm (載荷重 p=20.4ton) 24.4tm (載荷重 p=4.5ton) 8.7mm
破壊抵抗曲げモーメント a. スパン中央 b. ブロック目地	61.9tm (載荷重 p=20.4ton) 61.9tm (載荷重 p=24.1ton)	44.1tm (載荷重 p=12.4ton) 44.1tm (載荷重 p=14.8ton)	44.1tm (載荷重 p=12.4ton) 44.1tm (載荷重 p=14.8ton)
実験値	81.7ton (載荷重 p=29.2ton) 荷重直下点で破壊	70.2ton (載荷重 p=28.4ton) ブロック継目で破壊	59.7ton (載荷重 p=22.9ton) ブロック継目で破壊

注1: ひび割れ発生曲げモーメント  
a. スパン中央 引張線の応力度が設計曲下強度(=38kg/cf)に達する時の曲げモーメント  
b. ブロック目地 引張線に引張応力が発生し始めるときの曲げモーメント  
c. たわみ ブロック目地のひび割れ発生曲げモーメントに対するスパン中央のたわみ量  
注2: 試験桁No.1, 2の破壊抵抗曲げモーメントは、ボンドケーブル使用時の値の70%とする。



	プレストレス	グラウト	補強ケーブル	供試体
基準桁	100%	100%	無	1
試験桁 No.1	70%	100%	有	1
" No.2	70%	0%	有	1

(注) 本実験では、プレストレス導入力の低減は鋼材断面積を減少させて行うこととする。

図-8 供試体

終局破壊時の規準桁（健全桁）に対する試験桁のNo.1及び2の曲げモーメント+回復率は86%73%となっており、十分な回復度を期待することはできない。しかし設計計算上要求される破壊曲げモーメントは満たされていることから、実橋の補修設計としては概ね妥当な補強状態を確保できたと思われる。

## あ と が き

PCブロック桁橋の補修工法の1つとしてアウトケーブル方式を適用させる設計段階はクリアできたいと考える。

また実際の工事がおこなわれる中では色々な問題点にぶつかるであろうことは充分推定できる。

今回の補修設計では、当公団としても初めての試みでもあり模型による確認手段で進行した。また確認実験の解析を深め、より合理的設計の確立が望まれる所である。

最後に、本設計と確認実験に際し「コンクリート構造物の耐久性に関する調査研究委員会」（委員長岡田清 京都大学名誉教授）の指導のもとに同委員会の第3分科会（主査 小林和夫 大阪工業大学教授）の各委員、またワーキンググループとして、模型実験等で協力していただいたPC建協の各位に多大な御苦勞を頂いたことに深く謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 「コンクリート標準示方書」設計編（土木学会）
- 2) 「プレストレスコンクリート設計施工基準・同解説」（1987年改定） 日本建築学会
- 3) 「PC構造物最近の設計例と未来像」S59年1月（社）プレストレスコンクリート技術協会
- 4) 「レオンハルトのコンクリート講座②続、鉄筋コンクリートの設計」 鹿島出版会