

目地を有する PC 部材のねじり強度

泉 満 明*
阿 部 源 次**
中 條 友 義**

1. はじめに

プレキャストコンクリート構造物の強度を支配するものの一つに部材の目地部の挙動がある。この実験的研究は、目地を有するプレレストコンクリート部材がねじりを受けた場合の目地部および部材全体の挙動について行ったものである。供試体は、一体打設5体のものを含めて20体作製され、プレストレスの導入量、目地形式を変えることとした。これらに純ねじりを載荷して実験を行い、その結果について検討を加えたものである。

2. 実験の概要

2.1 供試体

供試体は、図-1に示す箱形断面を有するもので、一体打設のものとプレキャストブロック工法による2種類である。プレキャストブロック工法によるものは、次の3つの要素の組合せとなっている。

- 1) 導入プレストレス量を、平均値として60, 40, 10 kg/cm²とし、一部の供試体には、最大70 kg/cm²～最小10 kg/cm²、平均40 kg/cm²の偏心プレストレスを導入した。
- 2) 目地部にキー（鋼製、コンクリート）の配置の有無。
- 3) エポキシ樹脂による目地部の接着の有無。

表-1に供試体の種類が示されている。

図-1に示すように、プレキャストブロック工法による供試体においては、目地部で軸方向鉄筋は切れており、PC鋼材（φ21mm）のみが目地を横切って供試体全長にわたって配置されている。シースの径はφ26mmであり、プレストレス導入直後に載荷実験を行った。したがって、グラウトは施工していない。このことは、

- a) クリープ、乾燥収縮等による導入プレストレス量の減少、それによる有効プレストレスの不正確さを除くため。

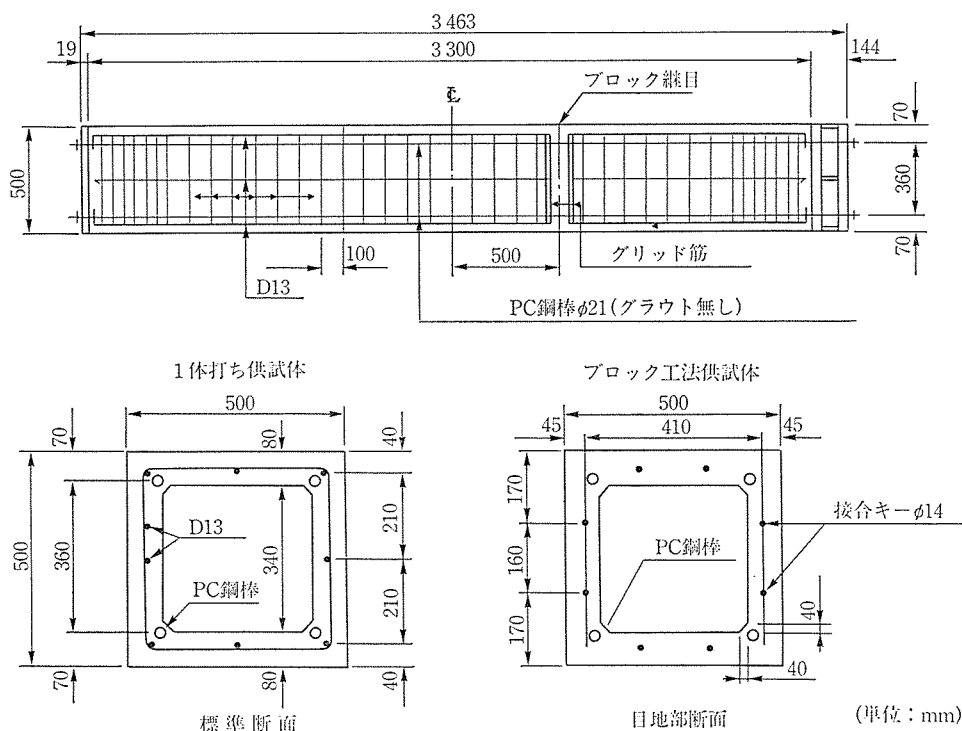


図-1 供試体

* 各城大学理工学部土木工学科教授

** 日本鋼弦コンクリート（株）

表-1 供試体の計画と実験結果

供試体名	供 試 体 の 構 造			実 験 結 果		摘 要	
	目 地 の 構 造	プレストレス		ひびわれ発生モーメント (t-m)	破壊モーメント (t-m)		
		分 布	導入応力度 (kg/cm ²)				
P-10	一体もの	一様 プレストレス	10		9.0	17.2	P'-10 はブロック工法で目地部となるところで鉄筋は不連続
P'-10			10		7.5	17.2	
P-40			40		12.0	18.6	
P-60			60		15.2	23.7	
P'-40		偏心 プレストレス	上	10	10.0	21.0	
		下	70				
PB-10-1	目地有り, 樹脂接着	一様 プレストレス	10		9.8	8.5	鉄製キー φ14
PB-10-2			10		7.1	10.2	
PB-40			40		11.0	14.2	
PB-60			60		11.8	18.5	
PBD-10-1	目地有り, 樹脂接着 鉄製キー配置	一様 プレストレス	10		9.2	16.7	
PBD-10-2			10		8.3	17.8	
PBD-40			40		12.0	19.2	
PBD-60			60		14.7	19.9	
PBD'-40-1		偏心 プレストレス	上	10	10.8	16.4	
PBD'-40-2					11.3	20.5	
PBD'-40-3	下		70	8.6	17.3	鉄製キー φ20	
PBC-10-1	目地有り, 樹脂接着, コンクリート キー配置	一様 プレストレス	10		7.0	12.1	
PBC-10-2					6.8	16.5	
PBCO-10	目地有り, コンク リートキー配置		60		7.5	8.5	
PBCO-60					12.5	18.5	

表-2 使用材料の性質一覧

項 目	圧縮強度 (kg/cm ²)	引 張 強 度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (kg/cm ²) × 10 ⁵	接着強度 (kg/cm ²)	せん断強度 (kg/cm ²)	備 考
コンクリート	443	34.5	2.65	—	—	設計強度 400 kg/cm ²
鉄筋 (D13)	—	3740 (降伏点)	21.0	—	—	
エポキシ樹脂	12000	241	—	68.0	—	
PC 鋼棒 (φ21) B種	—	10500 (降伏点)	20.6	—	—	
鋼製キー	—	—	—	—	3800	

b) PC 鋼材による目地部のジベル作用の影響を排除するため。
である。

2.2 使用材料

供試体に使用した材料は、表-2 に示すものである。

2.3 供試体の製作

供試体の製作は、日本鋼弦コンクリート株式会社相模原工場で行った。

一体打設のものは、型枠、鉄筋およびシースの配置、発泡スチロールの埋設型枠配置のうえ、コンクリート打設を行い8時間 35°C の蒸気養生を行った。

ブロック工法によるものは、鋼製キーの有無にかかわらず鋼板を各ブロック間に設置してコンクリート打設を

行い、硬化後、脱型と同時に取り除いた。コンクリートキーの場合は、目地部の精度を保つためマッチキャストを行った。コンクリート打設後は、一体打設と同様な養生を行い、脱型後、目地にエポキシ樹脂を塗付し、プレストレス 10 kg/cm² を与えて所定の付着強度になるまで養生を行った。

所要のプレストレスの導入は、ねじり載荷装置に供試体を設置した直後に、PC 鋼棒を緊張して行った。プレストレスは PC 鋼棒に添付した WG により測定しながら所定の量を導入した。

2.4 ねじり載荷

ねじり載荷は、写真-1 に示す 50 t-m の能力のある載荷装置で行った。載荷は2回行い、第1回はねじりひ

表-3 実験値と計算値の比較

供 試 体 名	ねじりひびわれモーメント (t-m)			終局ねじりモーメント (t-m)						
	実験値 (a)	計算値 (b)	a/b	実験値 (A)	計算値 (B)	計算値 (C)	A/B	A/C		
P-10	9.0	9.37	0.96	17.2		17.22	1.00	1.00		
P'-10	7.5	10.89	(0.69)	17.2		17.22	1.00	1.00		
P-40	12.0	10.99	1.09	18.6		18.60	1.08	1.00		
P-60	15.2	13.15	1.16	23.7		19.80	1.38	1.20		
P'-40	10.0	9.19	1.09	21.0		18.60	1.22	1.13		
PB-10-1	9.8	9.37	1.05	8.5		17.22	(0.49)	(0.49)		
PB-10-2	7.1	8.43	0.84	10.2		17.22	(0.59)	(0.59)		
PB-40	11.0	13.71	0.80	14.2		18.60	(0.82)	(0.76)		
PB-60	11.8	13.38	0.88	18.5		19.80	1.05	0.93		
PBD-10-1	9.2	8.92	1.03	16.7	17.22	17.22	0.97	0.97		
PBD-10-2	8.3	9.19	0.90	17.8		17.22	1.03	1.03		
PBD-40	12.0	11.48	1.05	19.2		18.60	1.11	1.03		
PBD-60	14.7	13.15	1.12	19.9		19.80	1.16	1.01		
PBD'-40-1	10.8	10.38	1.04	16.4		18.60	0.95	0.88		
PBD'-40-2	11.3	9.02	1.25	20.5		18.60	1.19	1.10		
PBD'-40-3	8.6	7.61	1.14	17.3		18.60	1.00	0.93		
PBC-10-1	7.0	7.45	0.94	12.1		17.22	(0.70)	(0.70)		
PBC-10-2	6.8	8.52	0.80	16.5		17.22	0.96	0.96		
PBCO-10	7.5	7.81	0.96	8.5		17.22	(0.57)	(0.49)		
PBCO-60	12.5	13.86	0.90	18.5		19.80	1.07	0.93		
平均値									1.08	1.01
変動係数 (%)	() の値は除く			() 内の値は除く					15.9	14.3%

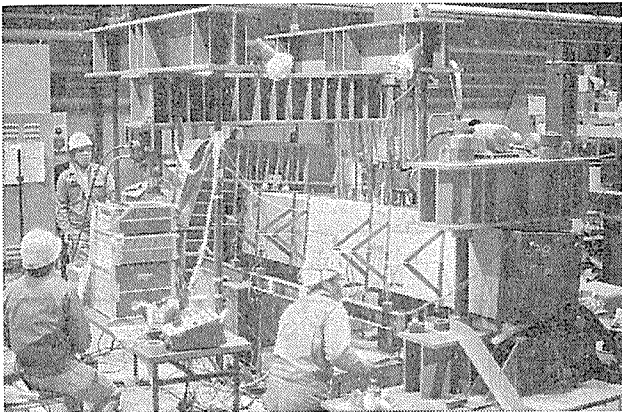


写真-1 ねじり載荷装置

びわれ発生モーメントの 80% 程度の弾性範囲での載荷, 第 2 回はねじり破壊発生まで載荷を行った。荷重は油圧ジャッキにより, 荷重の測定はロードセルによって行った。

2.5 測定

[測定の項目と方法]

- 1) 供試体のねじり回転
- 2) 目地部の回転および開き
- 3) 供試体軸方向の変形

以上の測定は, 変位計あるいはダイヤルゲージによって行った。

- 4) コンクリート, 鉄筋および PC 鋼棒のひずみ
- 5) ひびわれ幅, 形状

以上は, WSG およびコンタクトゲージによって測定を行った。

3. 実験の結果と解析

実験の結果と計算値の比較を表-3に, ひびわれおよび破壊の状態を写真-2に示す。

ひびわれ発生モーメント (M_{tc}) の算定は, 式 (1) によった。

$$M_{tc} = 2 k_c A_m t_0 \sigma_{cto} \sqrt{1 + \frac{\sigma_{cpe}}{\sigma_{cto}}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで,

A_m : 供試体のねじりに関する有効断面積

t_0 : 箱形断面の壁厚

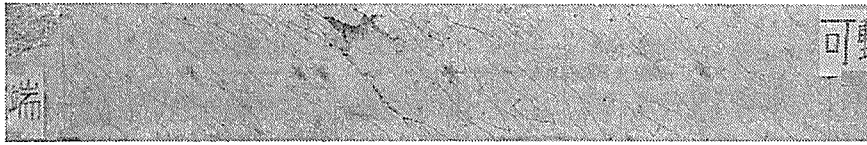
σ_{cto} : コンクリートの引張強度

σ_{cpe} : 断面に導入された有効プレストレス

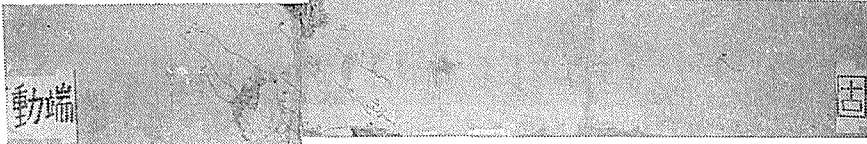
$$k_c: 1 - \frac{t_0}{d} \quad (d: \text{断面の辺の長さ})$$

式 (1) の原式は, 弾性理論に基づいた薄肉箱形断面に関するねじりモーメントとねじりせん断応力度の関係式に, プレストレスの影響を考慮した式である。しかし, 供試体は壁厚が大きいので, 実験値と計算値の比較から壁厚による修正が必要と推定された。ここでは壁厚中のねじりせん断応力度の分布を台形と仮定して修正係数 k_c を導いたものである。

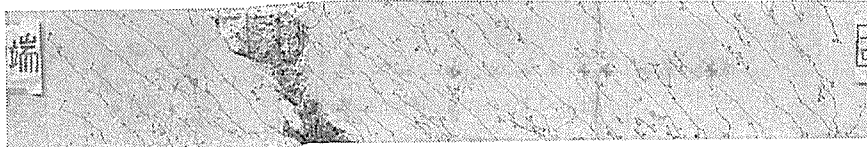
終局ねじりモーメントの算定は, 文献 (1) に示す式で求めるのが精度が良いと思われるが, 同一文献中のねじり破壊に関するつりあい補強鉄筋比の算定式によると, この研究に用いた供試体はいずれも under-reinforcement であるので, 算定には立体トラス理論に基づ



P-10

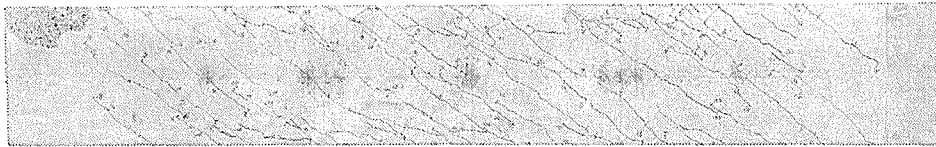


PB-10-1

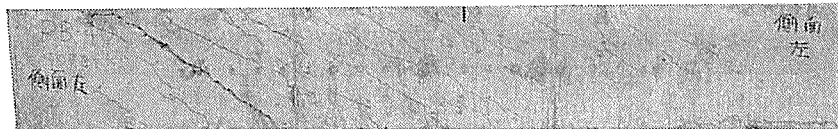


PBD-10

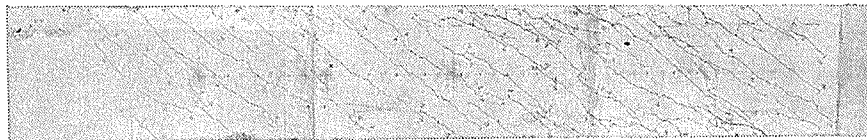
写真—2 (1) 供試体のねじりひびわれと破壊状況



P-40



PB-40

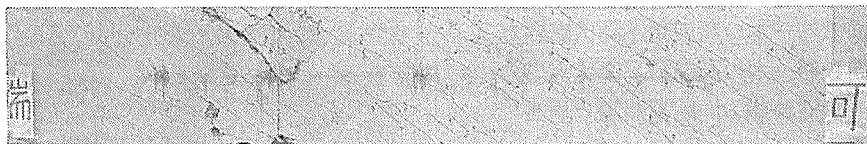


PBD-40

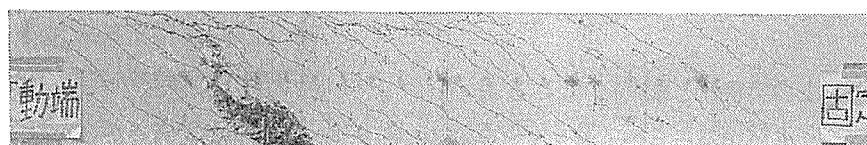
写真—2 (2)



P-60

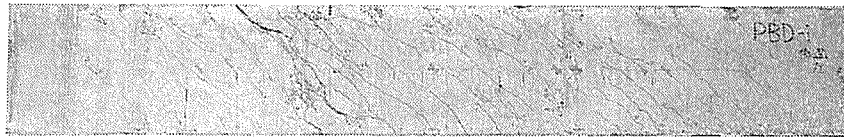


PB-60

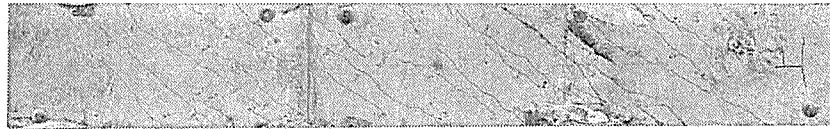


PBD-60

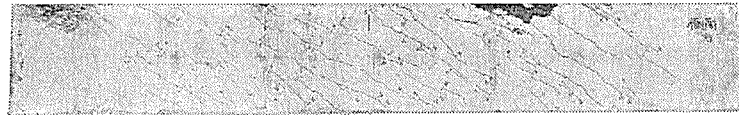
写真—2 (3)



PBD-3 (prestress 10kg/cm²)



PBD-3 (prestress 40kg/cm²)

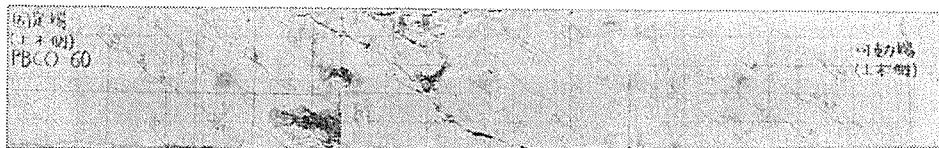


PBD-3 (prestress 70kg/cm²)

写真—2 (4)



PBCO-10



PBCO-60

写真—2 (5)

き、力のつり合いのみで誘導された簡単な式 (2) によって十分であると判断し、供試体の終局ねじりモーメント (M_{tu}) を算定した。表—3 の計算値 (B) は、式 (2) 中の $k_u=1.0$ とし、プレストレスの影響を無視したもので、同表の計算値 (C) は実験結果を検討しプレストレスの影響を考慮したものである。

$$M_{tu} = 2 k_u A'_m \sqrt{\frac{A_v \sigma_{svy}}{s} \cdot \frac{\sum A_l \sigma_{sly}}{u}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

- A'_m : 横方向鉄筋で囲まれた断面積
- A_v, σ_{svy} : 横方向鉄筋一本の断面積, 降伏点応力
- A_l, σ_{sly} : 軸方向鉄筋一本の断面積, 降伏点応力
- s, u : 横方向鉄筋の軸方向配置間隔, 周長
- k_u : $0.0035 \sigma_{cpe} + 0.94 (\sigma_{cpe})$; 有効プレストレス, ただし $\sigma_{cpe} \geq 17.0 \text{ kg/cm}^2$

[実験結果の検討]

ひびわれ発生モーメントの実験値と式 (1) による計算値と終局ねじりモーメントの実験値と式 (2) による計算値の比較を 表—3 に示す。

ひびわれ発生モーメントについて、表—3 および写真



写真—3 目地部の回転 (PBCO-10)

—2 より以下のことが明らかとなっている。

- 1) 式 (1) による算定値と実験値は Pⁿ-10 を除くと平均値として 1.0 となっている。

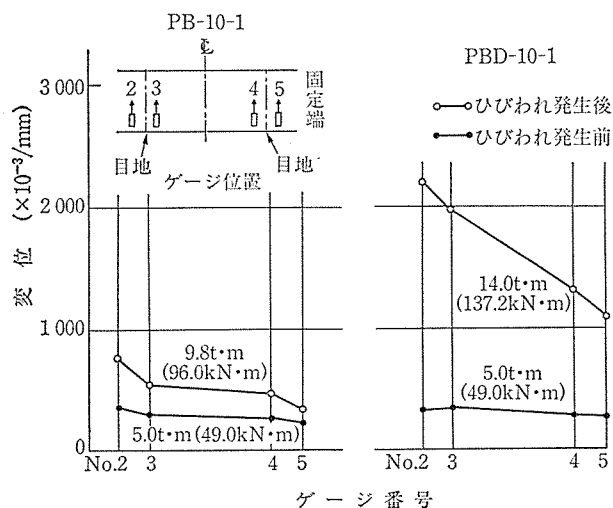


図-2 供試体目地部の軸方向変位分布

- 2) $P''-10$ の値が非常に低い原因は不明である。
- 3) 式 (1) によりこの実験の範囲内でのねじりひびわれ発生モーメントの算定は可能である。

終局ねじりモーメントについて、表-3 および写真-3 より以下のことが明らかとなっている。

- 1) 式 (2) による算定値と実験値は、PB-10-1, PB-10-2, PB-40, PBC-10-1 および PBCO-10 を除くと、平均値は 1.01 となっている。
- 2) 算定値より低い終局ねじりモーメントを示した供試体のうち PB-10-1, PB-10-2 および PBCO-10 は、写真-2 および 図-2 から明らかのように、ねじり破壊が主に目地部の回転によって発生しているため非常に低い値を示したものである。

図-2 は目地をはさんで変位計を設置し、目地部の回転を測定したものである。PB-10-1 と PBD-10-1 の供試体において、ひびわれ発生前においては差異はないと考えられるが、ひびわれ発生後においては、写真-2, 3 から明らかのように PB-10 および PBCO-10 は目地部において回転が発生している。

- 3) 目地部の各種形式およびプレストレスの導入量の組合せから、目地を有する部材が一体打設のものと同様な挙動を示すためには、以下の a), b) の条件が必要と推定される。

- a) 目地が樹脂接着されている場合、 10 kg/cm^2 以上のプレストレス導入とキーの配置、あるいは 60 kg/cm^2 のプレストレス導入が必要。
- b) 樹脂接着がない場合、 60 kg/cm^2 の導入プレストレスとキーの配置。
- c) プレストレス導入量が 40 kg/cm^2 のものについては、キーの設置と樹脂接着されたものは一体打設と同様な挙動を示すものと考えられる。キーの

ないものについては今後の研究が必要。

4. 結 論

4.1 ねじりひびわれ発生前の挙動について

一体打設の供試体あるいは式 (1) の算定値と実験結果の比較から、少数の例外はあるものの実験に採用した目地形式の供試体は、一体打設のものとひびわれ発生前にはほぼ同様な挙動を示すものと推定される。

4.2 ひびわれ発生後、終局ねじりモーメントに至る挙動について

ひびわれ発生から終局ねじりモーメントに至る間の挙動については、供試体の目地部の構造、導入プレストレス量により相違に異なる。

プレストレス 10 kg/cm^2 を導入した場合の一体打設の供試体と目地を有するものの比較では、一体打設のものと同一の挙動を確保するためには、目地の樹脂接着とキーの配置が必要。

プレストレスを 60 kg/cm^2 導入した場合には、目地の樹脂接着あるいはキーの配置で同一の挙動を示すものである。

プレストレスが 40 kg/cm^2 および偏心プレストレスの導入されたものについては、安全を考慮すると、目地の樹脂接着とキーの配置が一体打設のものと同一挙動を示すために必要であろう。

一体打設との比較からは上記に示すものであるが、目地を有するプレキャスト部材の挙動そのものを設計に取り入れることも一つの構造設計方法であろう。例えば、変形適合ねじりを受ける部材に、 10 kg/cm^2 程度のプレストレスの導入と樹脂接着の簡単な目地構造で強度的に十分であろうし、目地部の大きな回転により変形エネルギーを吸収させることは、耐震構造および経済設計の面から有利な場合もあろう。

一方、実際の建造物の設計・施工において、PC 部材の場合平均 60 kg/cm^2 程度のプレストレスは導入されている。また、施工上から、鋼製あるいはコンクリートキーがガイドの役割のために設置されているので、一般にはねじりに対しては問題がないといつてよいのではなかろうか。プレストレス導入量が 40 kg/cm^2 の場合も上記と同様実際にはあまり問題となることはないと思われる。なお、この研究に用いた供試体はいずれも PC 鋼材はグラウトされていないので、PC 鋼材のジベル作用はないと考えている。したがって、実際の部材では、一般に供試体で示されたよりも多少大きなねじり強度を有するものと推定される。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、御指導を頂いた東京都立大

◇論文報告◇

学名譽教授村田二郎先生，実験に御協力を頂いた鈴木，川崎，大作の各先生方に厚くお礼申し上げます。さらに，ご協力を頂いた高速道路調査会，PC 桁ブロック継目部におけるねじり抵抗研究班の津野委員長はじめ各委員の方々に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 泉 満明：コンクリート部材の終局ねじり強度の算定と設計法に関する研究，土木学会論文報告集，第 305，1981 年 1 月，pp. 111~124
- 2) 泉 満明，阿部源次，中條友義：目地を有する PC 部材のねじり強度，プレストレストコンクリート年次学術講演会，1988 年 11 月
- 3) PC 桁ブロック継目部におけるねじり抵抗に関する研究報告書，昭和 60 年 3 月，高速道路調査会

【1988 年 12 月 21 日受付】

◀刊行物案内▶

第 28 回 研究 発表 会 講 演 概 要

体 裁：B 5 判 130 頁

頒 布 価 格：3 000 円（送料 350 円）

内 容：(1) プレストレッシングストランドの 3% NaCl 環境における腐食疲労強度，(2) アフターボンド工法用 PC 鋼材について，(3) U型断面をした PC 小梁の載荷実験，(4) 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した PRC はりの持続荷重下における曲げ性状，(5) 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した型枠兼用プレキャスト板に関する実験的研究，(6) JIS PC 波形矢板の載荷試験，(7) 架設工法を考慮した PC 斜張橋の斜材張力及び主桁プレストレスの最適化，(8) PC 斜張橋の精度管理における斜材張力調整法に関する研究，(9) 目地を有する PC 部材のねじり強度，(10) 箱抜き部を有するプレキャスト PC 版の載荷試験，(11) PC—鋼合成構造の鋼桁の座屈による崩壊，(12) バージ用 PC スラブの集中面外荷重に対する強度，(13) 横方向 PC ケーブルと鋼板接着で補強された PC 橋の実橋載荷試験，(14) 実桁定着部のプレストレス導入時のひずみについて，(15) 15 年間交通供用された PC 橋の撤去工事に伴う施工法の検討および材料強度試験—広島市・工兵橋—，(16) プレストレス導入における摩擦係数の再検討，(17) 呼子大橋（PC 斜張橋）の風洞実験，(18) PC 斜版橋の設計について，(19) PC 斜版橋の構造解析モデルの検討，(20) 急曲線形 PC 下路桁の三次元解析，(21) 新素材による PC 橋—新宮橋の建設，(22) プレキャスト PC 床版を用いた鋼合成桁橋の設計と施工—大根田橋の床版打替え工事—，(23) 水面下にある中路式 PC 桁の設計と施工—水辺の散歩道（新高橋連絡通路）新設工事—，(24) 池間大橋の設計と施工（プレキャストブロック工法長大橋），(25) 「合成アーチ巻き立て工法」による旭橋の設計と施工，(26) 布施田浦橋（仮称）の設計と施工，(27) PC 吊床版橋の設計と施工，(28) 人工軽量骨材コンクリートを用いた PC 連続桁について—日豊本線・汐見川橋梁—，(29) 筒石川橋の施工，(30) ロアリング工法によるコンクリートアーチ橋の施工—内の倉橋—，(31) クレーン船の衝突によって損傷した PC 橋（青海大橋）の復旧工事，(32) シンガポール MRT 202 工区上部工の施工，(33) PC 大型矢板の砂礫層での施工