

# PCブロック桁の模型試験

(その 2)

村 上 温\*  
森 口 幸 雄\*\*

## 3. 模型桁による疲労試験

### (1) 概 要

光弾性試験の結果ブロック桁の応力の状況が大略わかったが、さらに模型桁を用いて疲労試験を行なったので、この結果を報告し、光弾性試験の結果とあわせてブロック桁の性状についての詳しい検討を行なうことにする。

模型実験は、できる限りスケールの大きい桁を採用し、在来の小さいテストピースでは発見され得なかったクラックの性状や継目部の挙動を調べることで、疲労試験を行ない、くり返し载荷が継目部に及ぼす影響を調べることで、常時の応力状態および破壊状態になったとき 図-1(b) に心配したようなせん断応力の状態になるかどうかを検討することを主眼とし、次のように実験計画をたてた。

### (2) 模型桁の設計および施工

模型桁のスケールは試験機の能力 150 t でちょうど破壊されるということで桁長 8.5 m、桁高 90 cm の I 型断面単純桁とした。設計条件および応力度等は表-2 および表-3 のとおりであり、設計図の詳細は 図-8 のとおりである。表-2 および表-3 よりわかるようにコンクリートの応力が若干許容以上になっており、特に斜め引張応力は目標をかなり下回って許容応力に達するが、模型桁であるため桁の寸法が他動的に決められる要素もあり発生応力の大きい状態で試験する方が結果に対して安全側なので特に断面の修正はしなかった。このため、有効プレストレス+自重の状態では桁の上縁に 24 kg/cm<sup>2</sup> の引張応力が働くので、実験開始前に多くのクラックを入れないため、上フランジを鋼棒で仮締めしておき、直前に解放した。

コンクリートの打設は 2 ブロックずつ 4 回にわけて行ない、接着面の処理は通常現場でいねいな施工として採用されている方法に近いものにするということで、すでに完成したブロックの端面に石けん水を塗布して隣接ブロック打設のさいの型わく代りとし接着については、

ブロック端両面に接着剤を塗布し接着面に均等に 5 kg/cm<sup>2</sup> の圧力がかかるように鋼棒、鉄筋を用いて仮締めを行なった。ケーブル緊張は最終ブロック打設後 1 週間各断面に引張りが生じないよう順次片引きで行なった。この程度の施工をしておけば、先の光弾性試験の実験 III および IV と同程度以上の一体化が期待できると思われる。次に継目付近に応力の乱れが生ずるかどうかを左右するものとしてブロックの補強筋をどの程度にするかということが問題となるが、これについても通常の設計で用いられているものと同等にするということで 図-8 に示すように  $\phi 9$  の鉄筋で補強した。

コンクリートの配合、鋼材、接着剤の品質等は表-4 に示すとおりである。

表-2 材料の強度および目標の許容応力度

○コンクリート	
設計基準強度	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$
許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca} = 130 \text{ "}$
許容斜引張応力度	設計荷重時 $\sigma_{1a} = -9 \text{ "}$
	破壊荷重時 $\sigma_{1a} = -20 \text{ "}$
○PC鋼線 (12- $\phi 7$ )	
引張強度	$\sigma_{pu} = 155 \text{ kg/mm}^2$
降伏点応力度	$\sigma_{py} = 135 \text{ "}$
許容引張応力度	設計荷重時 $\sigma_{pa} = 93 \text{ "}$
	緊張作業時 $\sigma_{pt} = 121.5 \text{ "}$
○鉄筋 (SR 24)	
許容引張応力度	$\sigma_{sa} = 1400 \text{ kg/cm}^2$

表-3 模型桁の発生応力

	上縁曲げ圧縮 (kg/cm <sup>2</sup> )	下縁曲げ圧縮 (kg/cm <sup>2</sup> )	備 考
①自重	8.6	-13.0	支点より 3 つ目のブロックと 4 つ目のブロックの継目で $P=27.4 \text{ t}$ のとき $\sigma_1=9.0 \text{ kg/cm}^2$ , $P=45\sim 50 \text{ t}$ で $\sigma_1 > 20 \text{ kg/cm}^2$ となる。
②プレストレス	- 8.6	176.7	
③有効プレストレス	-32.3	160.2	
④目標の設計荷重 (30 t)	102.6	160.1	
⑤最大荷重 (75 t)	256.5	-368.3	
プレストレス導入直後 (①+②)	0	163.7	
荷重載荷前 (①+③)	-23.7	147.2	
目標荷重載荷時 (①+③+④)	78.9	-0.1	
最大荷重載荷時 (①+③+⑤)	232.8	-221.1	

\* 国鉄東京第 1 工事局地下鉄線課長

\*\* 国鉄東京第 1 工事局本町工事区長

図-8 模型桁の詳細設計図

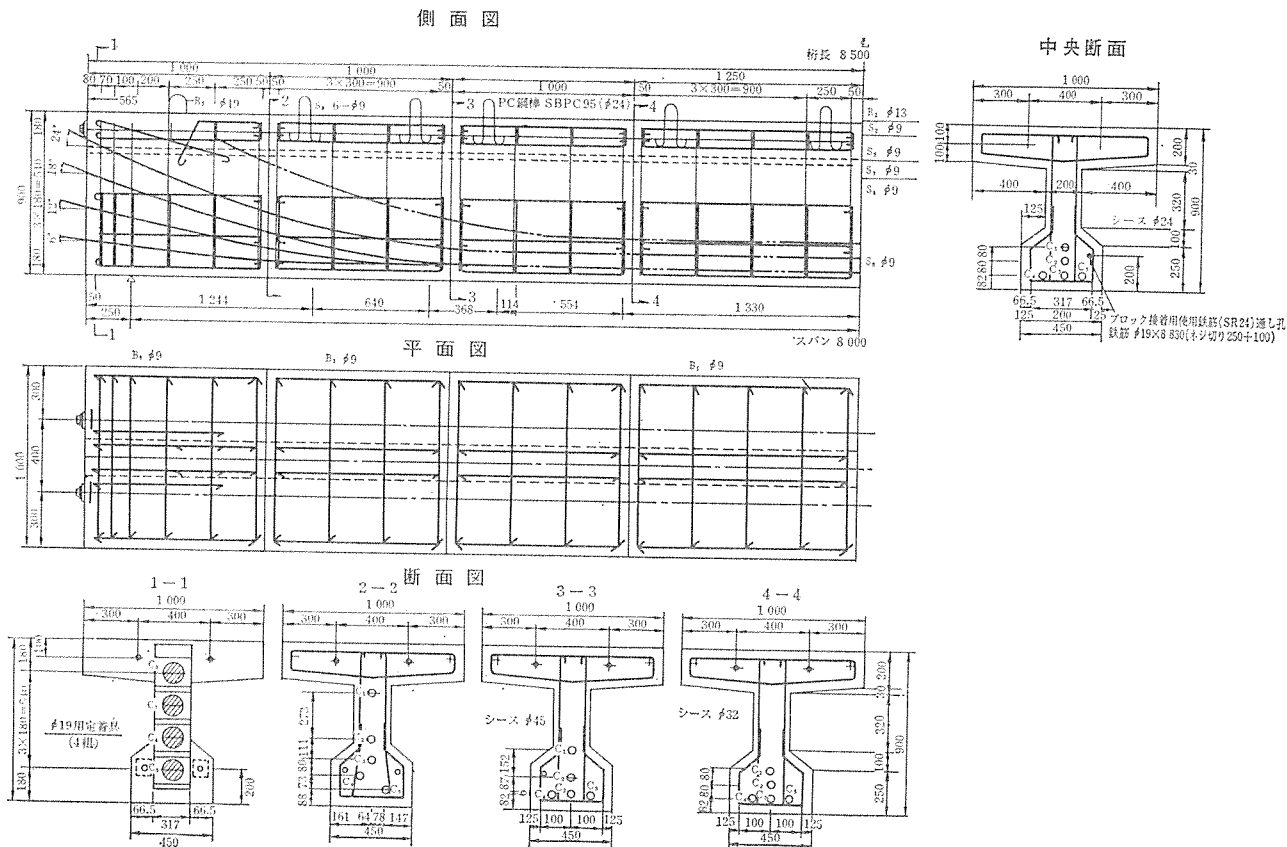


表-4 コンクリートの配合, PC 鋼線の品質, 接着剤の品質

○コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	単 位 水 量 (kg)	単位セメント量 (kg)	水セメント比 (%)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)
20	7±1	3.5	188	330	57	827	954

ただし、ボゾリス No. 5 セメント量の 5%, 粗骨材比重 2.66, 細骨材比重 2.60, 使用セメントは小野田早強セメント

○PC 鋼線

直 径 (mm)	引 張 強 度 (kg)	降伏点 荷 重 (kg)	伸 び (%)	くり返し曲げ		レラクセーション (%)
				曲げ半径 (mm)	回 数	
7.02	6800	6280	6.5	15.0	10	1.43

○接 着 剤

東邦天然ガストーホーダイト AC406 可使時間 2時間

(3) 試験の内容

試験に用いた載荷装置は、国鉄鉄道技術研究所所有のローゼンハウゼン型くり返し曲げ疲労試験装置で動的載荷速度は 270 回/分である。荷重の載荷位置および順序は表-5 に示すとおりである。くり返しの上限荷重は目標設計荷重の 120% またはくり返し前の載荷によるひびわれ発生荷重ということで定め、下限荷重の 10 t は活

荷重の大きい鉄道橋を想定し定めた。なお、くり返し回数は通常鉄道橋では 100 万回以上必要とされている。

測定としては、支点、1/4 点、および支間中央の 5 カ所のたわみを静試験ではダイヤルゲージで、動試験ではひずみ計によるたわみ測定器でそれぞれ測定した。また図-9 および 図-10 に示すようにストレインゲージを配置し、コンクリートおよび鋼材の応力を測定した。継目に近い部分のスターラップに特に多くのゲージを配置したのは、この付近に継目の影響による応力の乱れがないかどうかを調べるためである。以上のほか目視および最少目盛 1/40 mm のマイクロSCOPE でひびわれの発生および成長状況を測定した。写真-1~3 は試験の状況を示す。

(4) 試験の結果

支間中央のたわみおよび主要な点のひずみの測定結果を整理しまとめたのが 図-11~14 である。くり返し荷重の各段階における静試験は 2~3 回行っているが、図では、これらを平均して 0 点を補正している。理論値の算出に用いた弾性係数はたわみについては各ブロックより取ったテストピースより求めた値の平均を、コンクリートのひずみについては測定点の当該ブロックより取ったテストピースによる値をそれぞれ用いた。

ひびわれは、まず載荷前に仮締め鋼棒を除去したと

表-5 載荷位置および順序 (荷重: t)

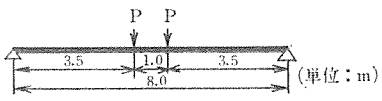
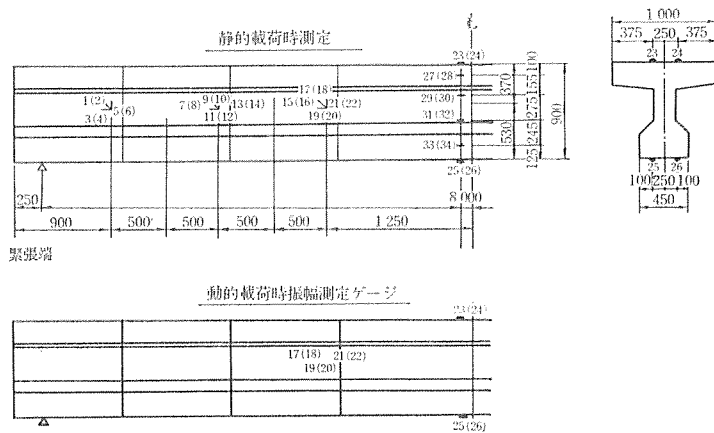
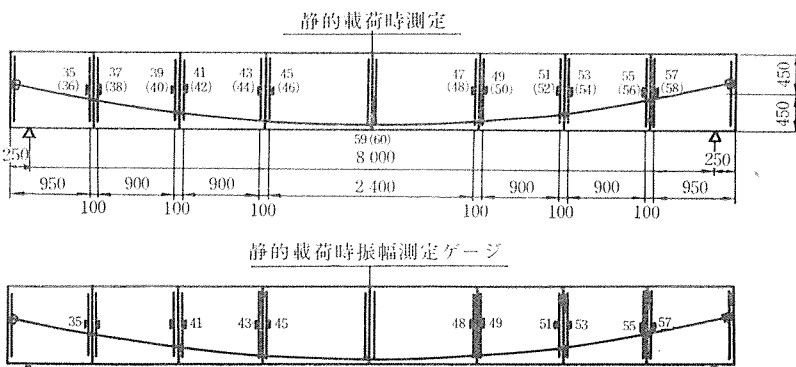
載荷位置の略図			
	上限荷重	下限荷重	荷重段階
静的試験 (動的載荷前)			0→5→10→15→20→25→30→(次の動的試験の上限荷重)→30→20→10→5→0 (3回くり返し)
動的 (0~50 万回)	35	10	
静的試験 (50 万回後)			第1回静的試験と同じ
動的 (50 万回~100 万回)	31.4	10	
静的試験 (100 万回後)			"
動的 (100 万回~150 万回)	31.4	10	
静的試験 (150 万回後)			"
動的 (150 万回~200 万回)	35	10	
静的試験 (動的載荷後)			第1回静的試験と同じサイクルで2回くり返し
静的破壊試験			破壊まで 10t ごと (最大74.3)
備 考	最大荷重 74.3t で桁は破壊しなかった。 破壊荷重はさらに 10~20% 大きいと思われる。		

図-9 コンクリート表面のゲージ (KP-70-A 1) の配置



註: ( )内のゲージ番号は反対側のゲージを示す。

図-10 鉄筋および PC 鋼線に貼布したゲージ (YL-3) の配置



き上縁の継目付近に 0.05~0.10 mm の幅のものが発生した。載荷によるひびわれは動試験前には  $P=35t$  で支間中央目地部片側に 0.10 mm のものが発生した。その後のくり返し荷重ではひびわれが目立った成長はなく、破壊荷重のとき  $P=38t$  ではじめて支間中央目地部以外にひびわれが発生、またひびわれ幅が 0.20 mm になったのは  $P=40t$  のときであった。斜め方向のひびわれは  $P=60t$  ごろから発生し、最大荷重のときその幅は 1.5~3.0 mm に達した。 $P=74.3t$  の載荷でも桁が破壊しないため荷重を 0 にもどしたところ、ひびわれはほとんど閉じてしまった。ひびわれの進行図、くり返し荷重および破壊荷重によるひびわれ幅の変化をそれぞれ 図-15~17 に示す。

(5) 考 察

以上の結果をまとめると次のようにいえる。

まず、桁の応力分布や耐力は次にのべるような理由で一体桁とほとんど変わらないといえる。

- 1) 図-11 にみるように、桁のたわみは全断面有効の理論値とほぼ一致している。
- 2) 図-12, 13 にみるように、主要点のコンクリートのひずみについても理論値との差は少ない。コンクリートの上縁の応力が荷重の小さい所で理論値より離れるのはひびわれの発生によるものと思われる。
- 3) たわみおよび主要点のひずみともくり返し載荷により、ほとんど増加しない。
- 4) 図-15 にみるように、ひびわれの全体の形は破壊荷重にいたるまで一体桁とくらべて変わりなく、図-1(b) に心配したような継目に沿ってのクラックの発達はない。またくり返し載荷によるひびわれの成長も少ない。
- 5) 図-14 にみるように、スターラップに配した鉄筋にはほとんど応力が発生しておらず、継目付近の応力の乱れは認められない。

写真-1 コンクリート打設

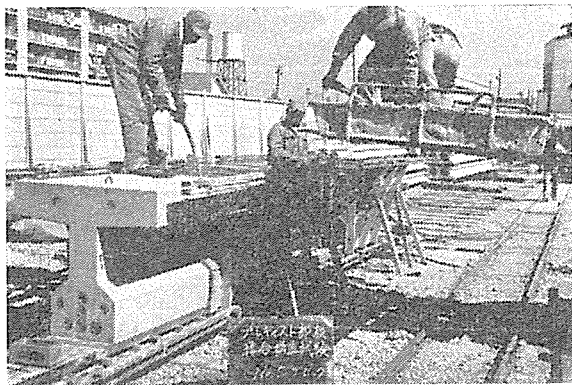


写真-2 ブロック接合

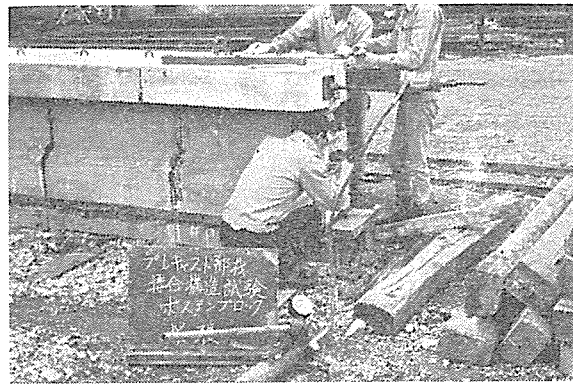


写真-3 載荷装置

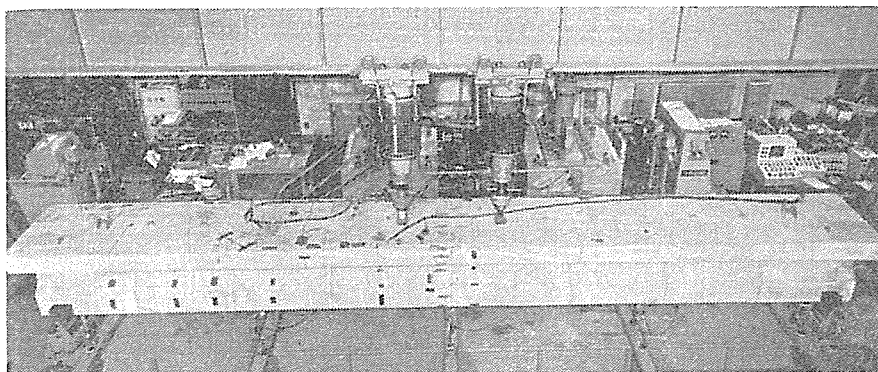


図-11 支間中央のたわみの測定結果

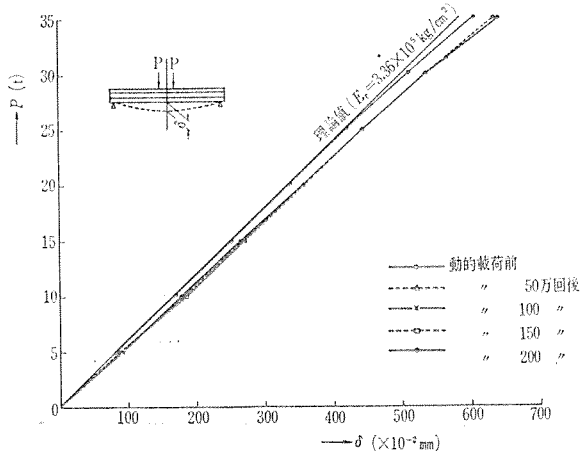


図-12 コンクリートの上縁応力の測定結果

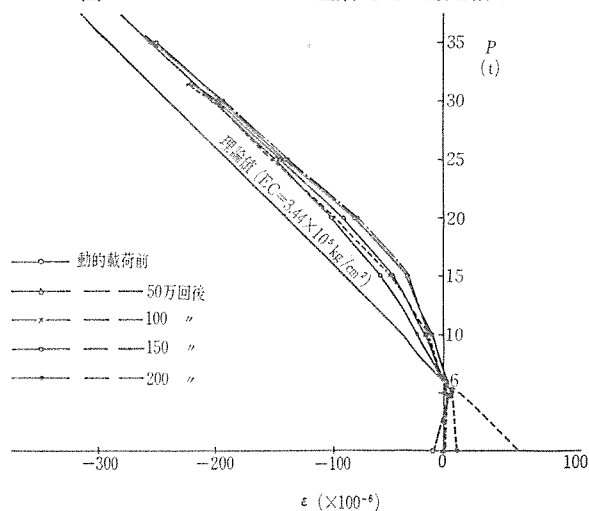


図-13 コンクリートの下縁応力の測定結果

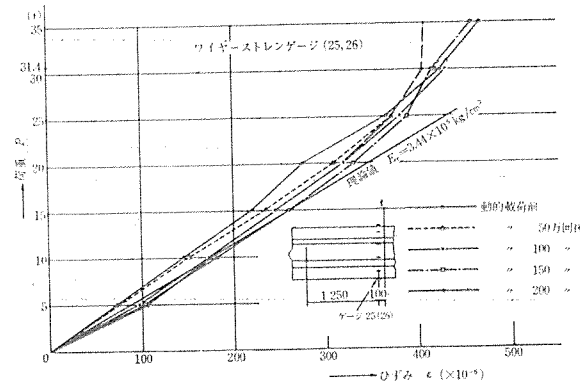


図-14 スターラップの応力測定結果

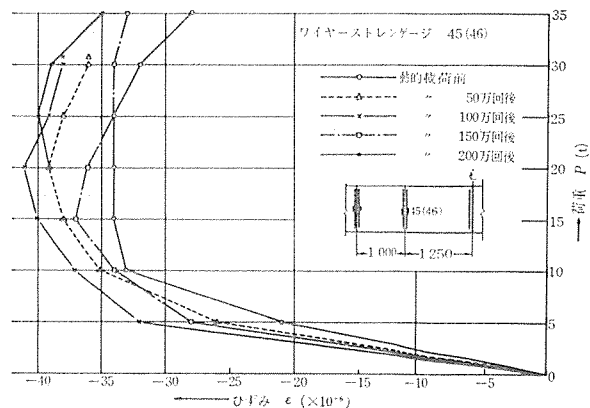


図-15 ひびわれ進行図

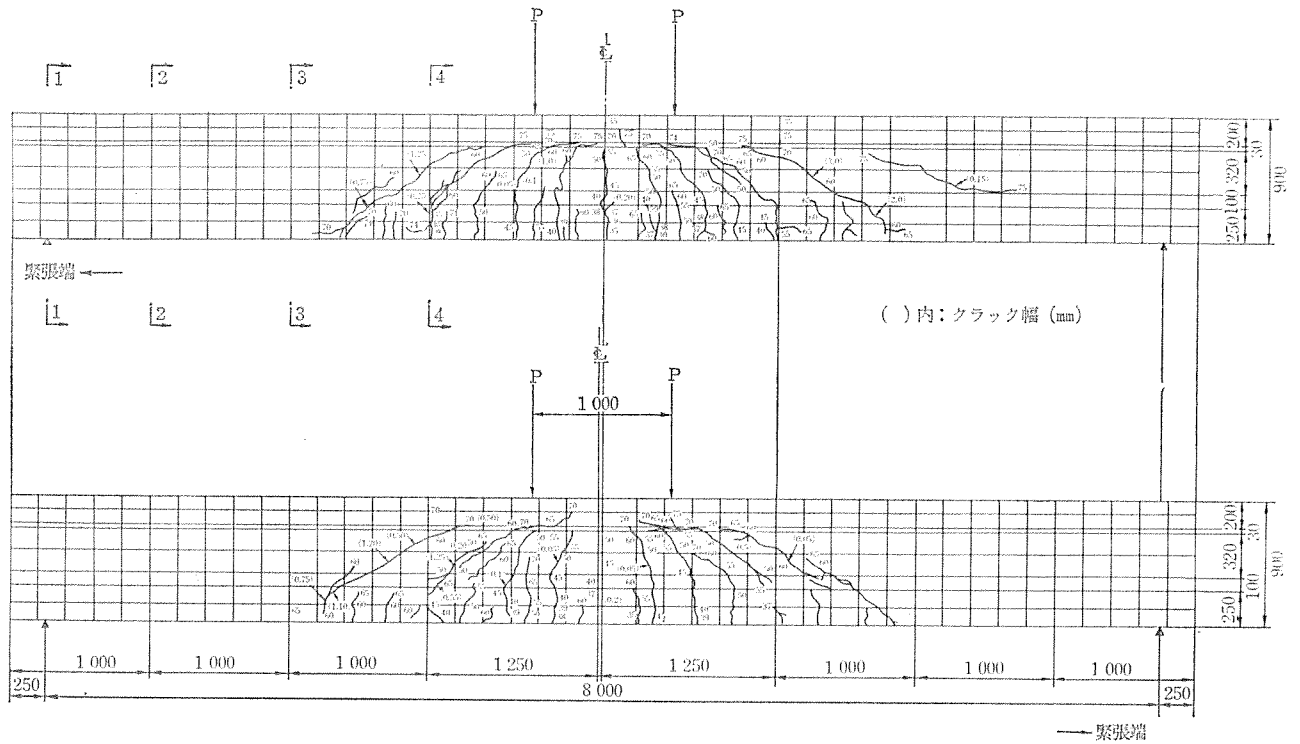
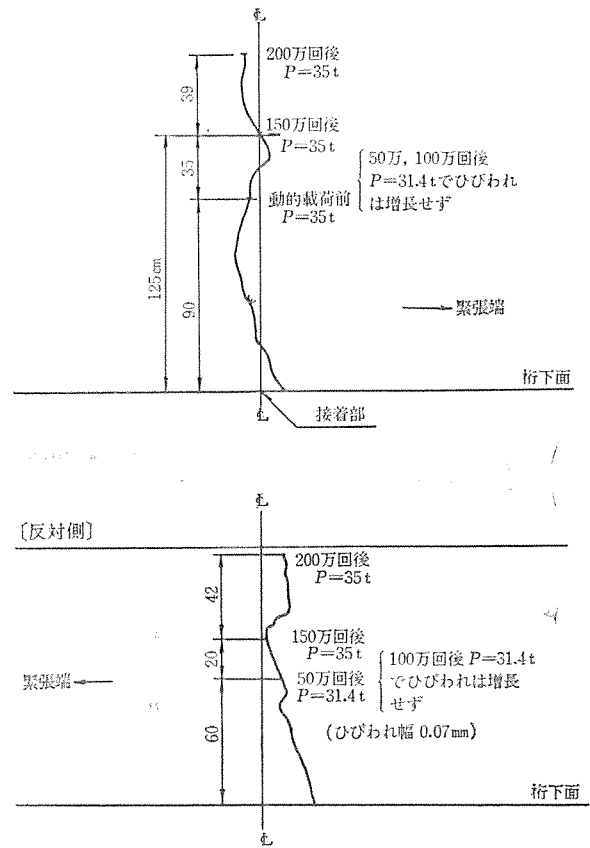
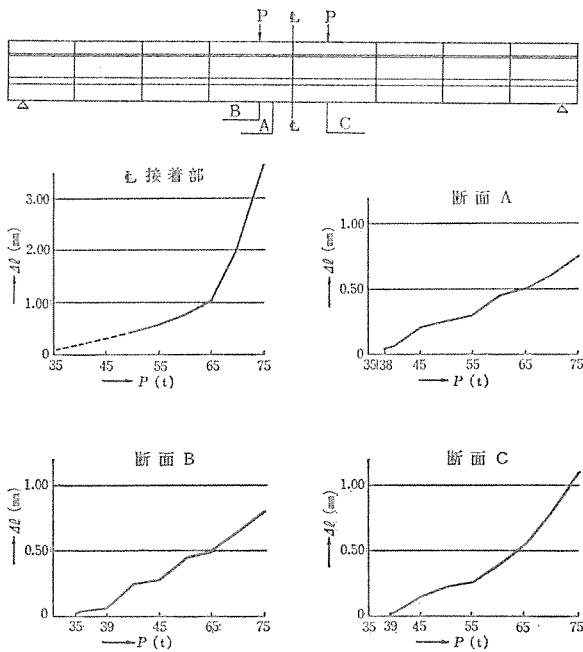


図-17 くり返し荷重によるひびわれ変化

図-16 破壊荷重によるひびわれの変化



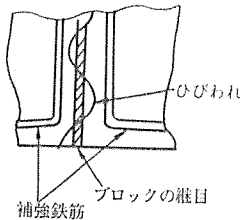
以上の 1)~5) および先の光弾性試験の結果を合せて考えると、プレストレスを導入し接着剤で十分接着しておけば、ブロック桁においても一体桁とほとんど変わらない応力状態になるといえる。

ひびわれについては次のようにいえる。

1) 最初に継目付近にひびわれ発生したのは  $P=35t$  のときであり、このときの応力は  $-25 \text{ kg/cm}^2$  である。一方、継目部以外にひびわれの生じたのは  $P=38t$  であり、また別にテストピースにより測定したコンクリートの引張強度は  $40\sim 45 \text{ kg/cm}^2$  であるから、継目付近が他の部分よりひびわれの発生が早いといえる。

2) これらの継目付近のひびわれは継目そのものの離合という形では生じないで 図-17 にみるように接着面より  $1\sim 3 \text{ cm}$  離れた所に生じている。これは仮締めを解放したときの 上縁のひびわれについても 載荷による下縁のひびわれについても同じである。これはこの付近に粗骨材が十分に配されないため、コンクリートの引張強度が平均より小さいこと、および当初 図-1(c) で心配され、また 図-18 に示されるようにこの部分で補強筋が切れており、引張鉄筋を切断して配置したことによる影響があらわれたことによると思われる。したがって、常識的ではあるが、継目部を貫通する鉄筋があればきわめて有益ということになる。

図-18 ひびわれと補強鉄筋の関係



#### 4. おわりに

以上で、簡単であるが報告を終る。試験の結果を総合すれば PC ブロック桁は継目部の施工をていねいにし、継目付近を適当に補強すれば一体桁と比べて何ら不安はないということになる。しかし継目付近のひびわれ発生の荷重が一体部分より約 10% 少ないことからひびわれ安全率を若干大きくする必要はあるかどうか、光弾性試

験の実験 II に見られるような応力集中は実際の桁ではどの程度の施工の悪さで生ずるのか、桁の断面形やブロックの数等が応力におよぼす影響はどうかなど今後に残された問題は多い。

また筆者らはこの実験の他 T 型桁についての同様の光弾性試験 1 で 2) のタイプに属する構造物としてあげたラーメン高架橋の模型実験等について計画または実施中であるが、これらについても今後機会を見て発表したい。

なお、ここに報告した試験のうち光弾性試験は東北大学 多谷博士の御指導によって実施したものであり、模型桁の疲労試験は国鉄の 43 年度の技術課題として建設局停車場 2 課、構造物設計事務所、鉄道技術研究所の指導により東京第 3 工事局およびオリエンタル・コンサルタンツの手により実施したもので、筆者らは、たまたま 43 年度土木学会吉田研究奨励金を授与させて頂いたので取りまとめを担当することになったものであり、本報告の作成にあたって上記各位の御指導を頂いたものであることを付記し感謝の意を表したい。

#### 参 考 文 献

- 1) “PC ブロック工法研究会研究報告”プレストレス コンクリート 1968 年 1 月
- 2) 多谷虎男：“Photoelastic Study on the Stresses in Haunches or Corner Angle Parts of Structures, Part 6” 東北大学工学報告 Vol. 33, No. 2
- 3) 市原、山根：小牧高架橋のセミプレハブ方式円柱橋脚、橋梁と基礎 1-12
- 4) 河野・池原・小寺：ブロック積み橋脚の継手について、第 9 回橋梁構造工学研究発表会、1962
- 5) 松本・村上・安本：鉄筋コンクリート合成スラブ橋、第 13 回橋梁構造工学研究発表会、1966
- 6) P.W. Abeles：“Static and Fatigue Tests on Partially Prestressed Concrete Constructions”, Journal of A.C. I., 1954 年 12 月
- 7) 国鉄東京第 3 工事局：プレキャスト部材の接合構造に関する研究報告書、1969 年 3 月
- 8) 村上・森口：部材のプレキャストブロック化による構造物の急速施工法の研究” 44 年度土木学会講演会概要

1969.11.13・受付