

名立川橋梁PC桁（プレキャストブロック工法）の設計と施工 ならびにこれに関連して行なった二、三の実験的考察

高 橋 克 男*
北 井 良 吉**

1. ま え が き

国鉄北陸本線 糸魚川～直江津間（約 37 km）の線路増設工事にもなつて施工された名立川橋梁（折込付図）の上部工では、工程の関係から施工を出水期に行なわなければならないこと、架設地点付近に桁を現場製作するスペースがとれないこと、平行して進めている頸城トンネル（複線断面、延長 11.355 km）の施工との競合をできるだけ少なくする必要があること、架設地点が海岸に面しているため、鉄桁は将来の保守上問題があること等の制約条件があつたため、検討の結果、プレキャストのコンクリートブロックをエポキシ系樹脂により接着したのちプレストレスを導入してPC桁を構成するプレキャストブロック工法によるPC桁を採用することとした。ここでは、本橋梁の設計、施工にあたって考慮した点、このようなブロック工法PC桁の施工を今後より容易にするためにブロック接合部について行なった二、三の実験結果などについて、この工事の概要を含めて以下に述べることとする。

PC桁をブロックとして、施工現場以外の製作ヤード（コンクリート工場など）であらかじめ製作し、これを架設地点まで運搬し、架設地点で接着、緊張して桁を作ることにより、架設現場ではブロックの接着、桁の緊張、架設のみの作業となるので、架設地点が狭隘な場合、架設地点での工程に制限のある場合、架設地点で桁を製作することが不可能な場合などには、きわめて有効な工法であり、また工場製作を行なうことにより品質管理も容易となり均等質で信頼度の高い桁を作ることができる。

2. 設 計

(1) 設計条件

スパン $l=31.260$ m, 桁高 $H=2.600$ m, 活荷重 KS-18, 衝撃係

* 国鉄東京第三工務局長
(前岐阜工務局長)

** 国鉄建設局線増課課長補佐
(前岐阜工務局糸魚川出張所)

数 $i=0.337$, 破壊荷重 1.3 D.L.+2.5 (L.L.+L.i), 1.75 (D.L.+L.L.+L.i), 活荷重によるたわみ $\delta/l \leq 1/1000$, コンクリート設計基準強度 $\sigma_{ck}=400$ kg/cm², コンクリートの許容曲げ圧縮応力度はプレストレス導入時で 170 kg/cm², 設計荷重作用時で 130 kg/cm², 許容曲げ引張応力度はプレストレス導入時で -15 kg/cm², 設計荷重作用時で 10 kg/cm², 許容斜引張応力度は設計荷重作用時で 9 kg/cm², 破壊時許容値 20 kg/cm², 破壊時最大値 40 kg/cm² である。またPC鋼線は 12φ12.7 mm を使用し、ブロック組立時に使用する鋼棒は φ27 mm (SBPC 95) を使用した。

(2) 断面、配筋その他

折込付図を参照されたい。

(3) ブロックの大きさ、接合面の突起

ブロック1個の大きさは、通常のトラックで運搬できるようにするために、その重量を 12 t 以下になるよう長さを折込付図に示すように 0.80~1.850 m とした。

また接合面にはブロックの組立てを容易にし、組立時のせん断力に耐えさせるようにするために突起（ホゾ）を断面の上下、左右に設けた。突起の強度はブロック7個を接着し、4本の組立て鋼棒（φ27 mm）で仮締め（約 4 kg/cm² のストレス導入）して両端で支持したときにそのせん断力をとることができるように設計した。

(4) 接 着 剤

ブロックの接着に使用する接着剤はエポキシ樹脂系のもので、可使時間は 15±5°C で 3時間以上のものを使用することとした。その強度は塗布後 7日目で圧縮強度 700 kg/cm², 曲げ引張強度 200 kg/cm² 以上のものである

3. 施 工

(1) ブロックの製作

表-1 コンクリート配合表

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	ポゾリス No. 5 (kg/m ³)
25	4~7	3~4	38	155.8	410	586.4	1181.7	2.05

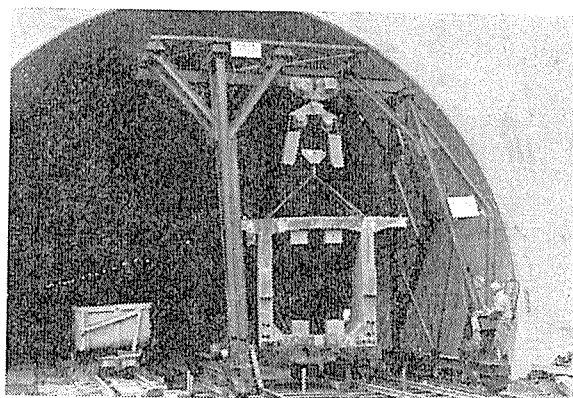
使用コンクリートの配合は 表-1 参照のこと。

ブロックの端面には前述のように突起を設けたので、その製作にはまず奇数番号のものを製作し、偶数番号のものは奇数番号のブロックの端面を型わく代りとして、コンクリート打設を行なうようにした。この場合、接合面のはく離を確実にするために先打ブロックの端面に、厚さ 0.03 mm のビニールシートをはりつける方法、もしくは苛性ソーダー石けん液とケイ酸ナトリウムの 50% (重量比) 混合液を塗布する方法 (いずれの方法でも、はく離性能にはほとんど差はなかったが、ビニールシートをはりつける方法では、そのはりつけを慎重に行なわないとブロックの隅角部に丸みをつけ、ブロック接合面にすき間をつくってしまう危険がある) を採用した。打設完了のブロックは、門型クレーンでブロックの自重相当分の力で吊上げておき、あらかじめ発泡スチロールを使用してブロック相互間に設けておいたすき間にくさび (木製) を打込んで、ブロック 1 個ずつ引きはなしてゆき、はなれたブロックはそのまま自走式門型クレーンで製作ヤードから、ブロック運搬用トロにのせ、組立ベースに搬入する (写真-1)。組立ベースは架設現場から約 40m 離れた施工中の頸城トンネルの一部を使用して設けた。これら仮設備の配置は 図-1 に示す。

(2) ブロックの組立

ブロックを組立ベース上に 0.5~1.0 m 間隔にならべ接合面の表面処理 [グラインダー (アングルグラインダー (500 W, 1 200 rpm) によるレイタンスの除去) をし

写真-1 自走式門型クレーンによるブロックの組立ベースへの搬入 (左側のトロはトンネル工専用のもの)



たのち、接着剤を 0.5~1.0 mm 厚さで接合面の両面に塗布し、あらかじめそう入しておいたブロック組立用 PC 鋼棒 (径 27 mm) 4 本により合計 120 t の緊張力 (ブロック接合面あたり約 4 kg/cm²) によりブロックの接合組立を行なう。この場合、接着剤の可使時間が 3 時間程度であるので、この時間内に接着剤の塗布、ブロックの組立、鋼棒による緊張を完了することができるようにするため 1 回で行なうブロックの組立を、7 ブロックずつとし、1 本の桁を 3 回に分けて接着することとした。またブロックの組立は、まず自走式門型クレーンで吊り上げながら、1 個ずつ寄せてゆくが、鋼棒による緊張組立時の摩擦を減少させるために、組立ベース (H 型鋼 200×200×12×8 をコンクリートに埋込んだもの) とブロック底面との間に 0.3 mm 厚の鋼板をはさみ、これにグリ

図-1 仮設備図

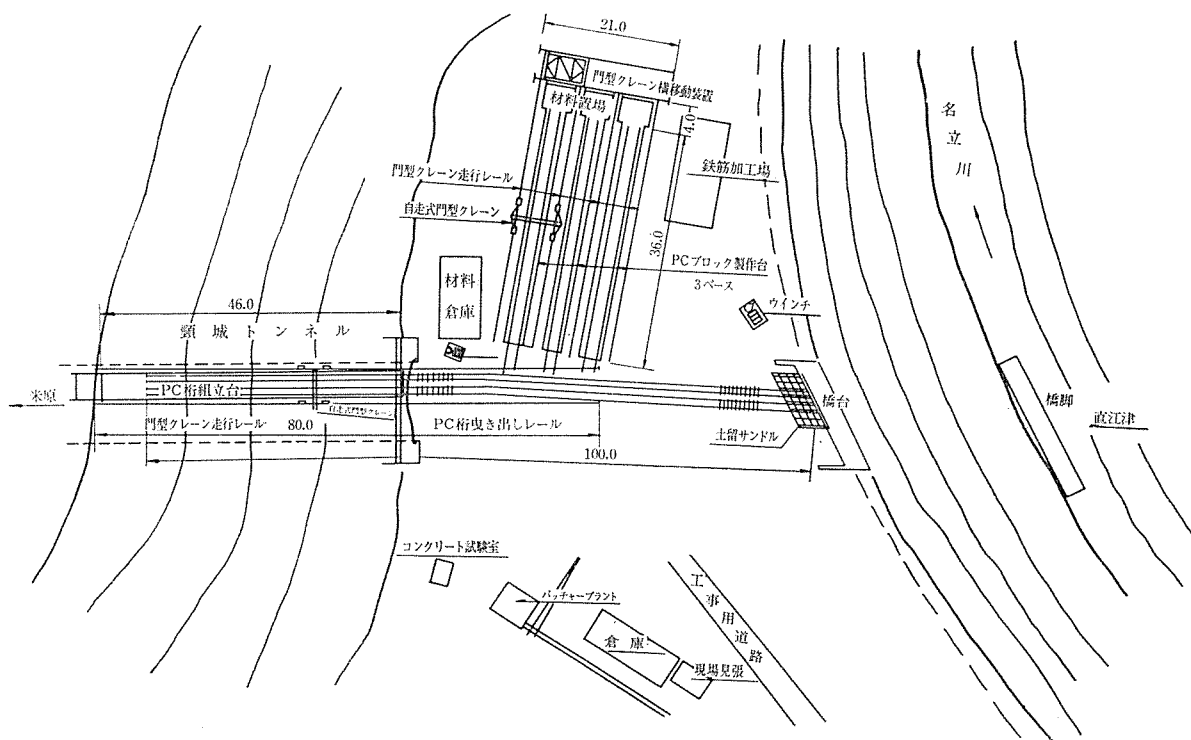
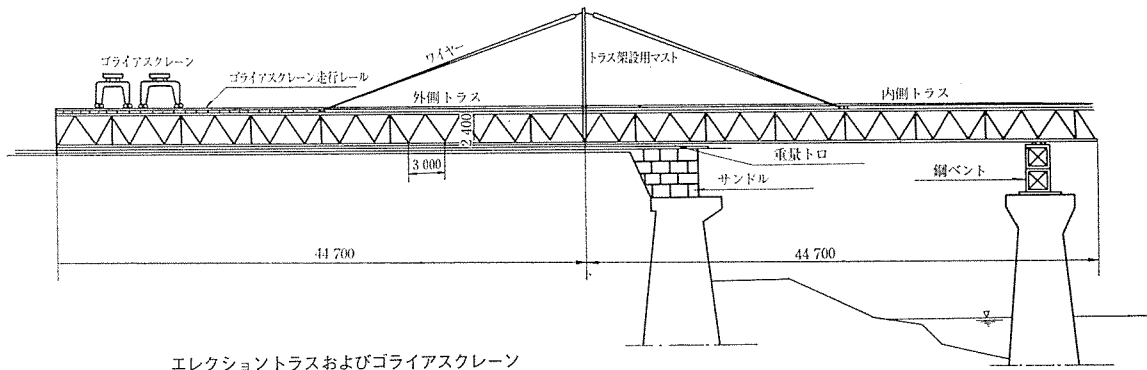


図-2 エレクショントラス架設図



エレクショントラスおよびゴライアスクレーン

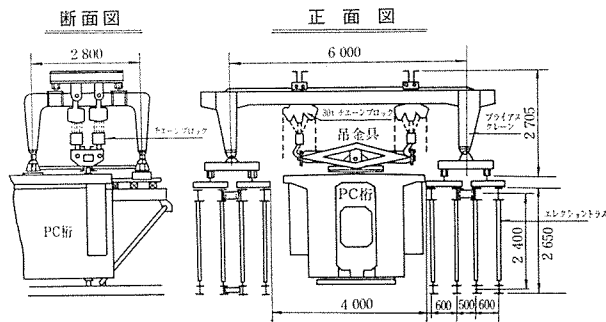


写真-2 組立ベース上における接着剤の塗布

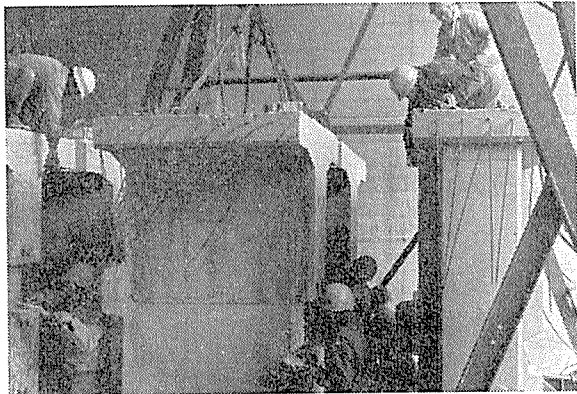
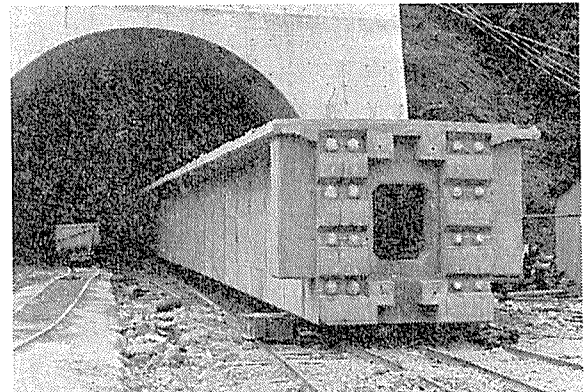


写真-3 接着，緊張した桁の重量トロによる運搬



ースを塗布することにより摩擦の減少をはかったので、120 t の緊張力でもブロックを完全に密着させ組み立ててゆくことが可能であった（写真-2）。

ブロックの仮置（1日），接着（1日），緊張，グラウト（1日）に要する日数は3日程度であり，同程度の大きさのPC桁を在来のように現場製作した場合は，25日程度要することから考えると，確実な品質のものをきわめて短期間の現場工期で施工することができるといえよう。

4. 架 設

1本当りの桁重量が約240 tであり，通常のエレクションガーダー方式をとることはできず，また出水期における施工であるので，架設地点に架設用ベントを建てることもできないため，本橋梁の架設では図-2に示すエ

レクショントラスおよびゴライアスクレーンを使用して行なった。これらの概要はつぎのとおりである。

1) エレクショントラス

	重構のとき	単構のとき
全 長	44.7 m	89.4 m
有効最大長	43.5 m	88.0 m
架設最大桁重量 (スパン 40 m のとき)	240 t	120 t
自 重		90 t

2) ゴライアスクレーン

最大吊上げ荷重（1基当たり）	125 t
スパン（最大）	6.0 m
自 重	12.5 t

桁架設に先だって，まず，エレクショントラスを架設する。エレクショントラスの架設は図-2に示すように

単構トラス（内側トラス）を手延べ桁のかわりとしてひき出し架設後、外側トラスを切離し、ゴライアス クレーンが、すでに手延べにより架設してあるエレクトリオン

トラス上を外側トラスを吊り下げて走行し、エレクトリオントラスを重合し重構トラスとして組み上げる。PC桁は組立ベースからエレクトリオントラスまでは、重量トロで運搬し（写真-3）、その後はゴライアス クレーンに吊り下げた状態で、ゴライアス クレーンがエレクトリオントラス上を走行する。本橋梁は斜角の桁であったが、ブロック工法を採用する関係から桁端を直角としたため、桁架設では横移動が困難であるため、桁の最終セット位置にエレクトリオントラスを置き、これに取付くように運搬用軌道を敷設しなおす方法をとった。

5. ブロック接合部の検討

本橋梁では、ブロックの組立を正確にし、組立時の荷重を負担させるために接合面に突起を設けることとしたが、このためにブロック製作の際、すでに製作したブロックの端面を型わく代りとして、他のブロックを製作することとなった。しかし製作ベースをより小さいものとし、不特定の桁のために、あらかじめブロックを製作しておくといった将来のためには、この接合面の突起はな

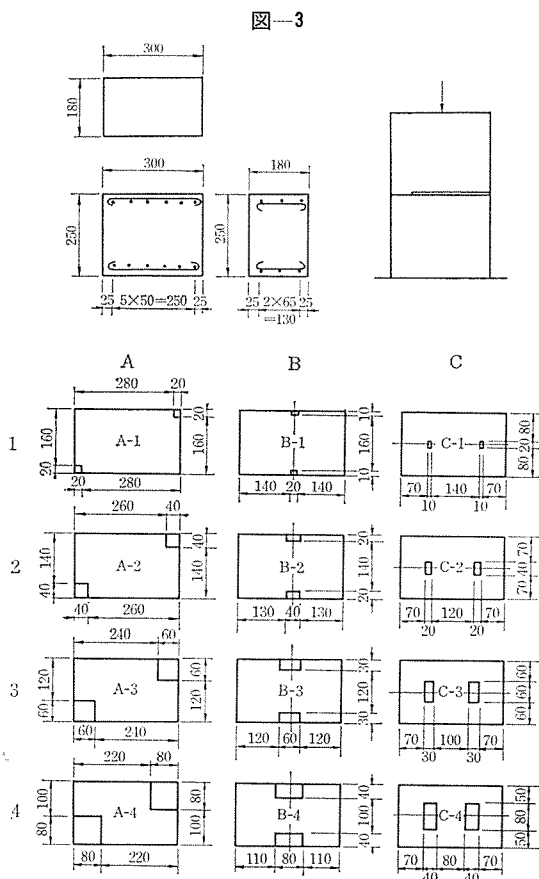


表-2 コンクリート配合表

最大粗骨材寸法 (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	S/A (%)	セメント量 (kg/m ³)	水量 (kg/m ³)	砂 (kg/m ³)	砕石 (kg/m ³)	混和剤 (kg/m ³)
20	5	55.0	42.9	287	156	834	958	1.43

い方がより望ましい。本橋梁の施工の一環として、これらの諸点（突起の効果、ブロック製作精度およびその影響等）について、実験を行なったが、試験桁の本数も少なく、応力分布の測定も十分とはいえないため、十分な成果が得られなかったが、その結果について概略以下に述べることにする。なお、これらの実験に使用したコンクリートの配合は表-2のとおりである。

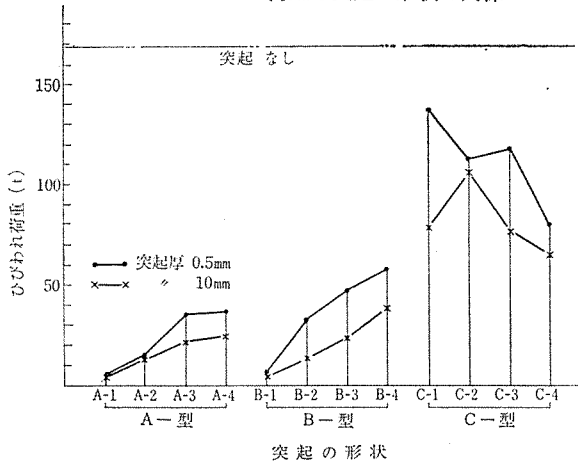
(1) 接合面の突起の位置、寸法の強度に及ぼす影響

各ブロックを個々独立に別の型わくで製作した場合、各ブロックの互換性も考慮に入れて、その接合面の表面の突起の位置、寸法がどの程度までブロックの強度に影響を与えるかを確かめるために、図-3に示すA, B, C 3種類のブロックを144個製作し、突起なしブロックと重ねて圧縮破壊試験を行ない、ひびわれ荷重および内部応力を測定した。各ブロックの突起の形状、寸法は図-3に示すごとくであり、その厚さ（高さ）は0.5 mmおよび1 mmの2種類のものにつき試験し、載荷荷重ピッ

表-3

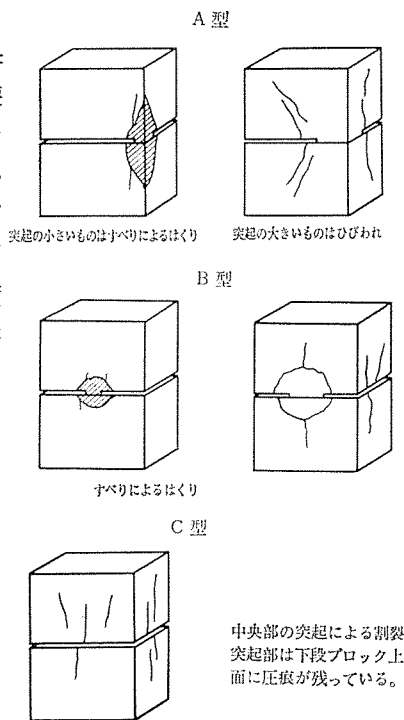
形 式	ひびわれ荷重 (t)	ひびわれ荷重を突起の面積で割った値 (kg/cm ²)	ひびわれ荷重を全面積で割った値 (kg/cm ²)		
A	突起厚 0.5 mm	A-1	5.0	625	9.25
		A-2	15.0	470	27.8
		A-3	35.0	486	65.0
		A-4	36.7	286	68.0
	突起厚 1.0 mm	A-1	4.5	563	8.35
		A-2	12.3	385	22.8
		A-3	21.7	302	40.2
		A-4	25.0	195	46.3
B	突起厚 0.5 mm	B-1	6.2	1 550	11.5
		B-2	33.3	2 080	61.5
		B-3	48.3	1 340	89.0
		B-4	58.3	912	108.0
	突起厚 1.0 mm	B-1	4.7	1 175	8.7
		B-2	13.3	830	24.6
		B-3	23.3	650	43.2
		B-4	38.7	605	71.6
C	突起厚 0.5 mm	C-1	136.7	34 000	253.0
		C-2	113.3	7 100	210.0
		C-3	118.3	3 290	219.0
		C-4	80.0	1 250	148.0
	突起厚 1.0 mm	C-1	78.3	19 500	145.0
		C-2	106.7	6 670	198.0
		C-3	76.7	2 130	142.0
		C-4	65.0	1 015	120.0
突起なし (O型)		169.4	—	314.0	

図-4 ひびわれ荷重と突起の形状の関係



ちは 0.5~1.0 t ピッチで破壊までもっていった。その結果をひびわれ荷重と突起の形状との関係をグラフにしたものが図-4 であり、ひびわれ荷重を突起の面積、ブロック全面積で割った値が表-3 である。また A, B, C 各タイプの一般的な破壊状況を図示したものが図-5 である。

図-5 ひびわれの概況



これらの結果から突起部に荷重が作用すると、その部分のコンクリートがくさび状に作用し、その作用により、

- ① すべりにより突起部のコンクリートがはく離するようになるか。
 - ② そのくさびによりブロックを割裂するようになるか。
 - ③ 突起部の面積が大きい場合は、突起部が耐える荷重が大きくなるので、その荷重によりブロック本体に曲げまたはせん断によるひびわれを生ずる。
- また、C型のように突起が内部にある場合は、突起部の面積が小さく荷重による変形が大きくなったり、面積が大きくても、ひびわれにより突起部の高さが低くなると他の部分が全面的に接触し、突起のないブロックと同じ状態へと移行する。

このような結果から、接合部のコンクリート面に突起

がある場合、0.5 mm 程度以下の厚さで、かつその大きさが 2 cm² 以下でその突起がブロックの外縁部にある場合は、その突起のみがはく離し、内部にあればコンクリートの変形により、ブロック全体にひびわれを生じさせることはないようであるが、その場合、くり返し荷重による影響については実験を行っていないので判然としない。ただ、エポキシ樹脂系の接着剤のようなコンクリートに比して、そのヤング係数が非常に小さいものをブロック間にてん充する場合には、上述のような危険性は多少少なくなるものと考えられる。

(2) 接合部目地の形状による桁としての強度、たわみ、および曲げ応力の分布

ブロックの製作誤差により、その接合部目地にかかる目地形状が生じた場合に、それが桁としての強度におよぼす影響を調べるために、図-6 に示すような形状寸法の桁の目地に、表-4 に示す目地形状をエポキシ樹脂系接着剤（材令 7 日における圧縮強度 700 kg/cm²、曲げ引張り強度 200 kg/cm² 以上のもの）によりてん充し、P C 鋼棒 φ 22 (SBPC 125) により鋼棒 1 本当たり 20

図-6 曲げ試験供試体

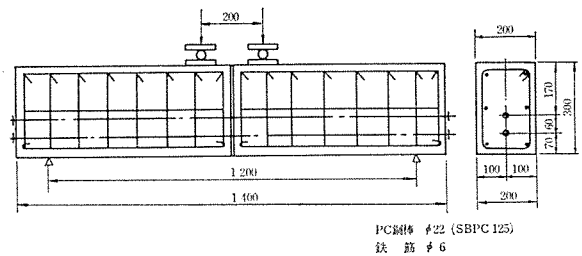


表-4 接合部の形状と曲げ試験の結果

試験番号	接合部の形状	ひびわれ荷重	破壊荷重	記 事
No. 1		21 t	47 t	接合面の目地平行
No. 2		21 t	47 t	接合面下部の目地厚 0
No. 3		18 t	47 t	接合面上部の目地厚 0
No. 4		22 t	45 t	接合面中間の目地厚 0
No. 5		22 t	47 t	接合面の目地厚変化する
No. 6		23 t	46 t	目地無し

図-7 各試験桁のたわみの比較図

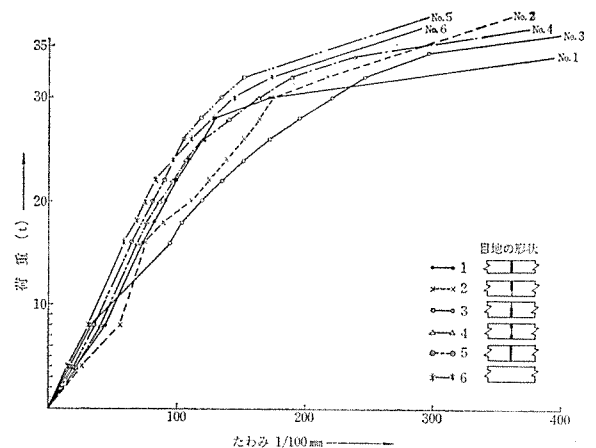
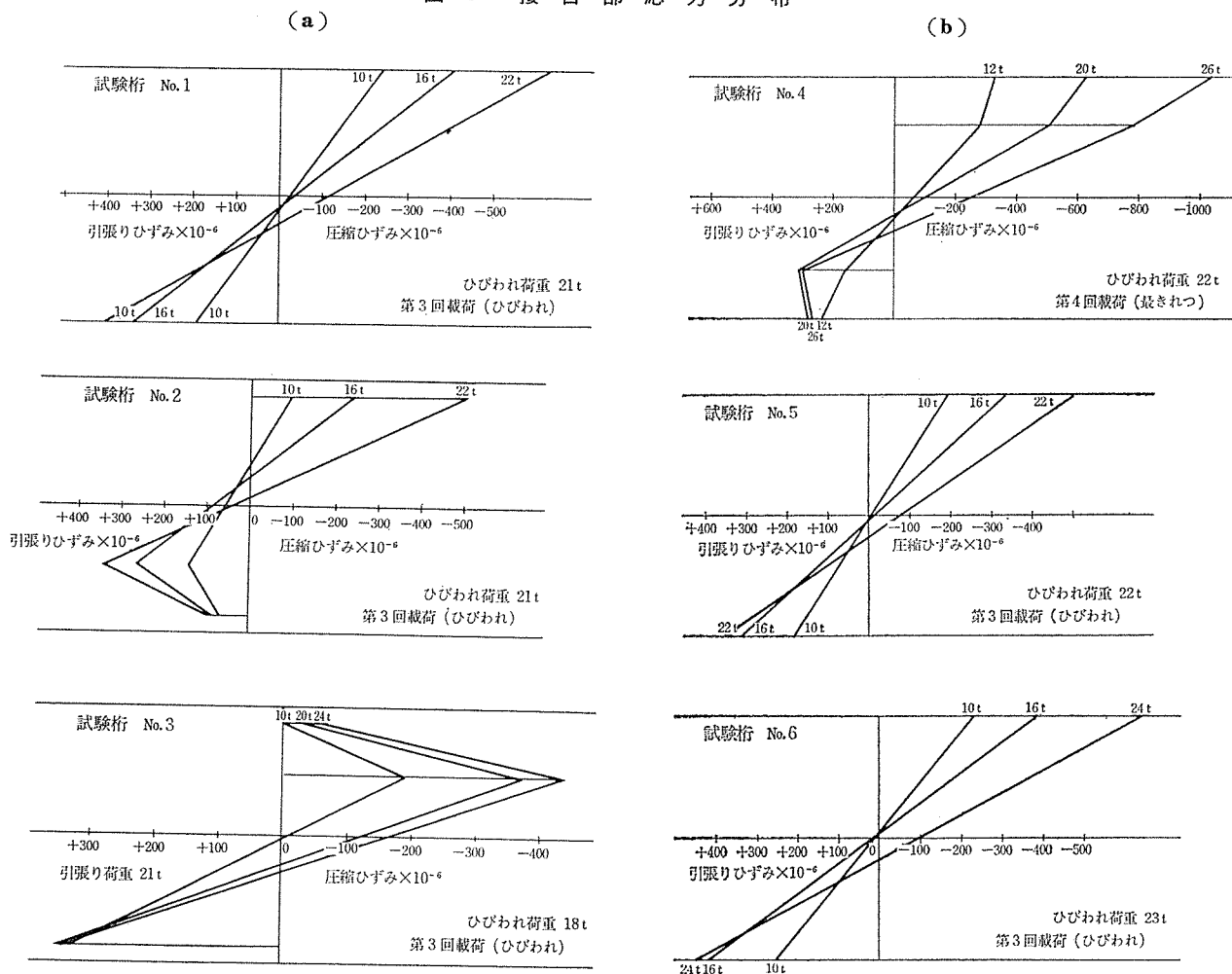


図-8 接合部応力分布



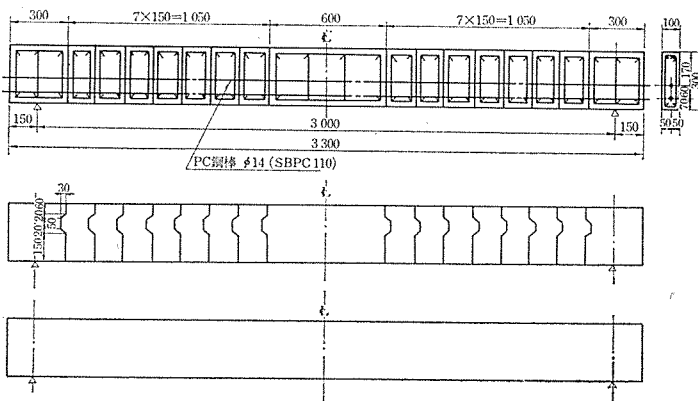
tで緊張した桁について桁としての強度、たわみおよび接合部の曲げ応力分布と実験により求めてみた。その結果、桁としての強度については、表-3、たわみについては図-7に示すとおりであり、目地剤である接着剤のヤング係数がコンクリートのその1/10程度であることからくる影響が主として現われている以外は桁としての強度、性状に大きく影響する要因として目地の形状が作用することはないように思われる。

また、ひびわれ発生までの各荷重段階における目地部分の曲げ応力の分布は図-8に示すとおりであり、接着剤が目地部分の上部もしくは下部にてん充されていない桁(試験桁 No. 2,3)の場合は、接着剤のクリープ現象によると思われる応力分布の変則的な形状が生じ、桁の最終的な強度に影響を与えるのではないかと予想されるが、供試体数も少ないので、はっきりとした結論は得られなかった。

(3) せん断に対するブロックの突起の効果

目地に突起を有するものと、有しないもののブロック工法桁と目地を有しない一本打の桁とについて、対称二

図-9 せん断試験供試体

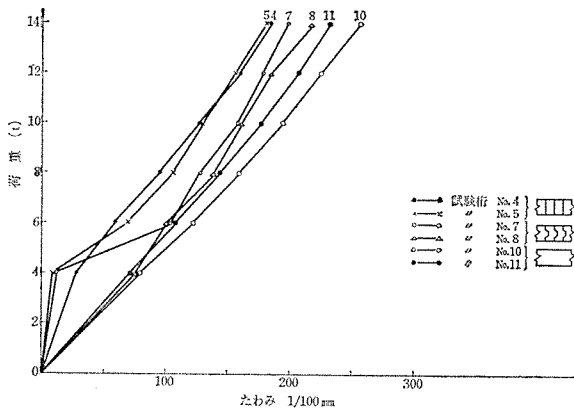


点載荷によりせん断破壊させ、せん断に対する突起の効果を実験桁により実験した。図-9に示す試験桁で予備試験により曲げによるひびわれのほかに、斜め引張によるひびわれも生ずるような二点对称載荷点を求めたところ、その値が支点から約30 cmとなったので、実験ではこの値を35 cmとしてひびわれ荷重、破壊荷重を求めたものが表-5であり、そのたわみ測定結果が図-10である。この結果からは、せん断に対する突起の効

表-5 せん断試験結果

目 地 形 状	載荷点と 支点との 距離 (cm)	ひびわれ荷重		破壊 荷重 (t)	破壊の 性 状
		曲げ (t)	斜引張 (t)		
目地平行 (突起なし)	35	19	33	45	せん断
目地平行 (")	"	22	34	49	"
目地突起あり	"	20	30	44	"
"	"	21	32	49	"
一本打桁	"	20	34	49	"
"	"	20	34	49	"
目地平行 (突起なし)	45	12	—	35	曲げ
目地突起あり	"	12	—	38	"
一本打桁	"	15	—	32	"

図-10 各試験桁のたわみの比較 (第2回載荷)

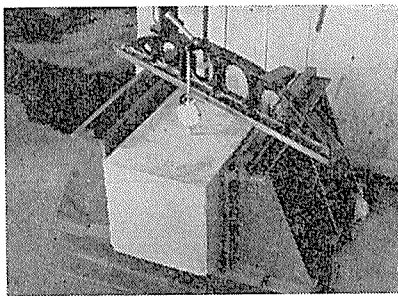


果は顕著であるとは認めがたいように思われる。また、この実験と平行して突起部におけるひずみの測定も行なったのであるが、特長ある結果は得られなかったのでここでは省略する。

(4) 接合面の凹凸測定

ブロックを個々独立して製作した場合、その接合面の仕上がりが問題となる。そこで、その接合面にそれぞれ鋼製型わく使用、合板(12mm耐水合板)型わく使用、こて仕上げの各場合についてその仕上がり精度を 1/100 mm 精度の平面度

写真-4 平面度検査器



検査器 (写真-4) により 図-11 に示す測定点について測定した。この場合、型わく使用の場合は、その型わく面が側面となるようにしてコンクリート打設を行なった。

また、供試体は 25×40×25 cm のものを使用した。これらの測定結果の一例は、 図-12 に示すとおりであり、鋼製型わく使用の場合は 40 cm 間で約 1 mm の曲線状の弯曲を示し、木製型わくでは 1.5 mm 程度の弯曲を示しているが、鋼製型わくの場合と比較して表面の

図-11 平面度凹凸測定供試体および測定点

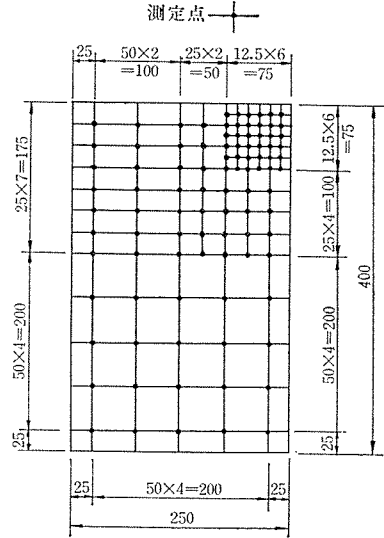
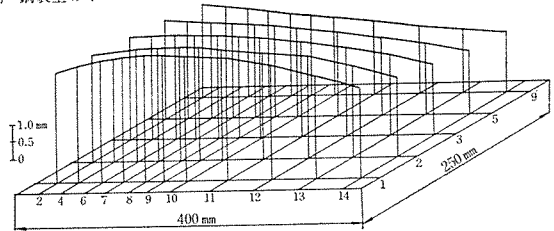
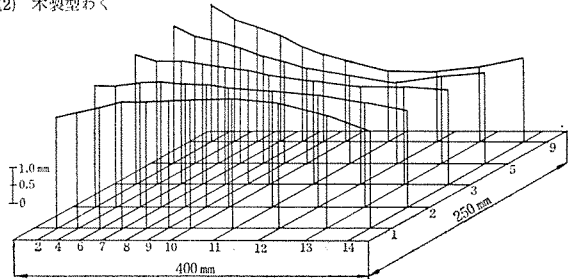


図-12 型わく種別と表面の凹凸測定結果

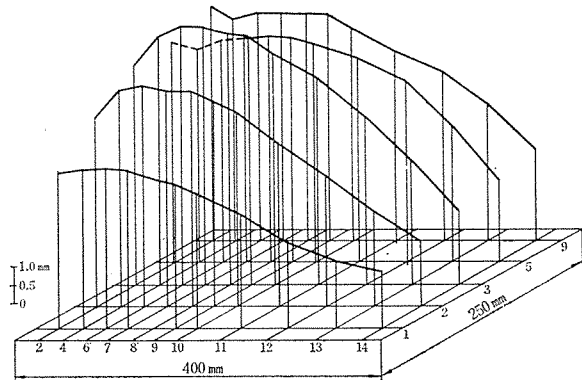
(1) 鋼製型わく



(2) 木製型わく



(3) コテ仕上げ



凹凸の方向が一樣ではない。またこて仕上げの場合は、2 mm 以上の凹凸があり、かつ中高の傾向がある。

また、これら型わく種類による表面の仕上がり精度は 75×75 mm の局所的な部分について細分して測定した結果では、上述の型わく種類、こて仕上げの別による差

異がより顕著に現われている。

これらの結果から、鋼製型わくを使用し、細心の注意をはらって施工することにより、局部的な凹凸の問題は解決できるように思われる。

6. あとがき

最近、工事の急速施工、品質の確実性、安定化などを目的としてプレハブ工法が多くなってきている。本橋梁もそのような観点から設計、施工したものであるが、すでに述べてきたごとくブロック接合面の突起がブロック製作、組立て上かなりの障害となった。そこでブロックを個々独立に製作し、不特定の桁を対象にしてあらかじめブロックを製作しておくといった今後のためには、このような突起を設けない方が望ましいと考えられる。

そのため突起を設けなかった場合のブロック工法PC桁の構造、強度、性能、施工上の問題点を検討するために二、三の実験を行なったのであるが、供試体個数も十分ではなく、はっきりとした結論は得られなかったが、

① 突起を設けないブロック工法桁でも桁としての強度、性能上、突起を設けた桁と大きな差異は認められないようである。

② 目地の形状と桁の強度との関係では、接合面の上部または下部にのみ接着剤が入り残りの目地部分に

接着剤が入っていないような接合面をもつ桁の接合面における応力分布は接着剤のクリープ現象によるものと思われる異状な分布を示しており、くり返し荷重を受けた場合の桁としての強度、性状の検討が必要であり、また接着剤のクリープ現象についても検討する必要があるように思われた。

③ ブロック製作に、鋼製型わくを使用することにより、その仕上がり精度が 1 mm 以内にする事が可能であり、接着剤による目地をん充を考えると鋼製型わくを使用しブロックを個々単独に製作することができるのではないかとと思われる。

④ 接合面に突起を設ける場合は、その周辺部よりも中心部に設け、ある程度以上の突起面積が必要である。

以上から、突起なしブロックとし、それらブロックを個々独立に製作し、それらを組み立ててPC桁とする方法も可能であるのではないかとと思われるが、今後さらに検討することとしたい。

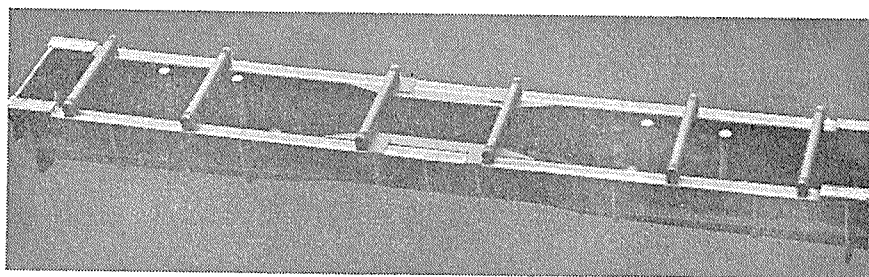
終りに本工事、実験にあたりいろいろご指導ご協力いただいた構造物設計事務所 小池技師、平栗主席、鉄建建設(株)(本橋梁の施工)、ピー・エス・コンクリート(株)(実験の実施)に感謝いたします。

1968.5.15・受付

製造元 株式会社 東北製作所

各種鋼製型枠の設計・製作

技術を誇る



(国鉄3号5型枕木型枠)



富田工業株式会社

本社 東京都中央区銀座西8の6 電話 (572) 8261 (大代表)
営業部・産業機器課