

浮島橋梁（P C 下路鉄道橋）の補強について（その2）

金 丸 豊 典*
織 田 陽 司*

4. 補強工事の施工

補強工事は「3-3-3 軸複式ボギー大物車：シキ 610（最大積載荷重 240 t）」の通行を可能ならしめるため、検討結果に基づいて実施されたもので、補強工事の概要は、下路橋主桁に、P C 鋼線（12φ8 mm）を2本ずつアウトケーブル方式で配置し、プレストレス力によってせん断補強をすると同時に曲げ引張りに対する補強をしたものである（図-11 参照）。

本補強工事は、興和コンクリート（株）によって、昭和 46 年 5 月 12 日～昭和 46 年 7 月 20 日の約 70 日間の工期で施工されたが、工事の特殊性から施工はすべて神奈川臨海鉄道（株）ならびに東京芝浦電気（株）両社の監督と、（株）日本 構造橋梁研究所の管理のもとに実施された。

(1) 補強用 P C 鋼材の配置と緊張

本橋の補強に必要な追加 P C 鋼材の総引張力は 220 t である。このため、12φ8 mm P C ケーブルを各主桁に2本ずつ、計4本、アウトケーブル方式で 図-11 に示すように配置するものとした。

定着具は、一般的な P C 鋼材定着具を用いると、その設置のための切欠きが大きくなって主桁に与える局所的な影響も無視できなくなるなど、種々の問題が残されることになると考えられたので、特に安全性を考慮して慎重に検討した結果、緊張端定着装置として 図-12 に示すものを考案作成し、これを主桁端に設置、また、ケーブルの他端は 図-13 に示すような固定端定着装置を用いて U 型に弯曲させて主桁他端に設置した。

緊張端定着装置は P C 鋼棒と接着剤で、また、固定端定着装置は接着剤で、主桁コンクリートと十分に接着させた。接着剤としては、ショーボンド 303A（液状）、101A（パテ状）などを使用した。

(2) シースとダイヤモンドドリルによるせん孔

a) シース 補強用 P C ケーブル（12φ8 mm）は主桁にアウトケーブル方式で配置されるので、シースは外

気中に露出される。本橋は海岸埋立地にあつて潮風にさらされるほか、付近一帯は工場地帯で空気の汚染も著しい。

したがって、シースとしては、炭素鋼鋼管（外径φ48.6 mm、内径φ41.6 mm、厚さ3.5 mm）を使用し、シース外面に防水・防食テープを巻きつけたうえ、その表面にアルミペイントを2回塗布するなど嚴重に防水・防錆処理を施した。

温度変化などによるシースの伸縮に対してはジョイント管（外径φ60.5 mm、内径φ52.9 mm、厚さ3.8 mm）を使用した。ジョイント管の固定端はシースと電気溶接または接着剤で固定し、可動端はグリスをそう入して伸縮を容易ならしめた。

b) 主桁せん孔工 主桁せん孔工は本補強工事の成否にかかわる最重要作業の一つで、主桁に補強用 P C 鋼材配置のための孔をせん孔する場合、せん孔箇所近傍の主桁コンクリートに絶対にきれつや損傷を与えず、かつ、孔の位置と方向は正確にこれを保持しなければならない。これについて種々検討を重ねた結果、ダイヤモンドドリル工法を採用するものとし、特に、本補強工事のための治具や付属装置を考案作成して使用した。施工結果はきわめて良好であった。

(3) ダイヤフラム補強

補強用 P C 鋼材（12φ8 mm）を緊張すると、緊張力の鉛直分力がダイヤフラムに作用し、ダイヤフラムの P C 鋼材用シースとの接触面にかなりの支圧応力が生ずる。この支圧応力を緩和し、補強用 P C 鋼材の緊張力の主桁への伝達作用を確実にするため、図-11 に示すようなダイヤフラムの補強を実施した。

(4) 緊張作業

補強用 P C 鋼材（12φ8 mm）の緊張の結果の一例を 図-14 に示す。摩擦係数 μ はいずれも 0.15～0.25 程度であった。

(5) グラウト工

グラウトは、P C 鋼材固定端定着装置部から注入した。グラウトの品質ならびに配合は土木学会「P C グラ

*株式会社 日本構造橋梁研究所

写真-3 緊張端着装置

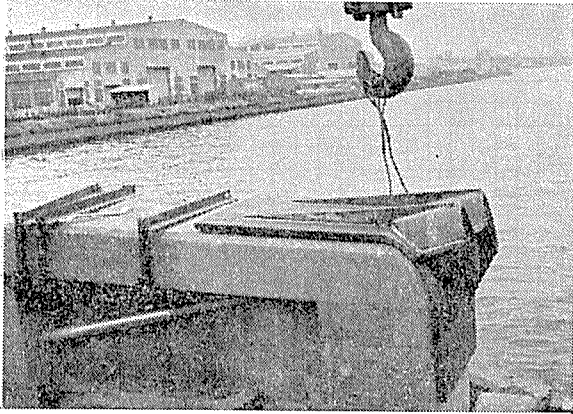


写真-6 主桁せん孔状況

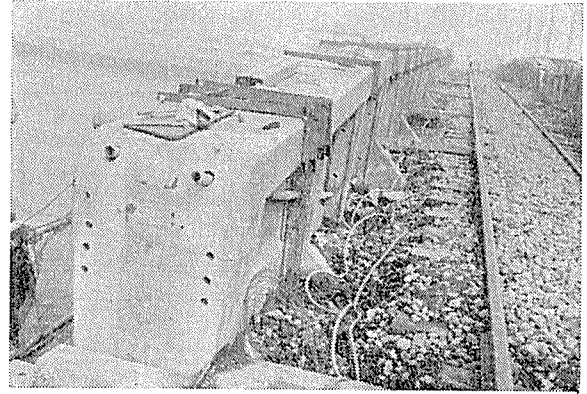


写真-4 固定端着装置

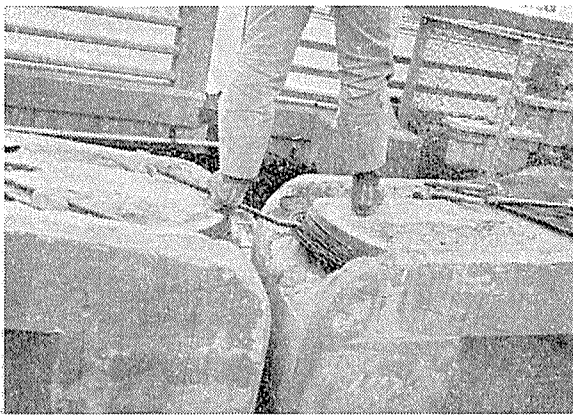


写真-7 シース設置状況

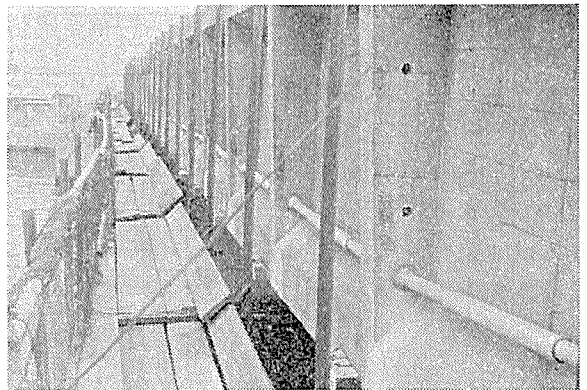


写真-5 主桁せん孔工



写真-8
ダイヤフラム
補強

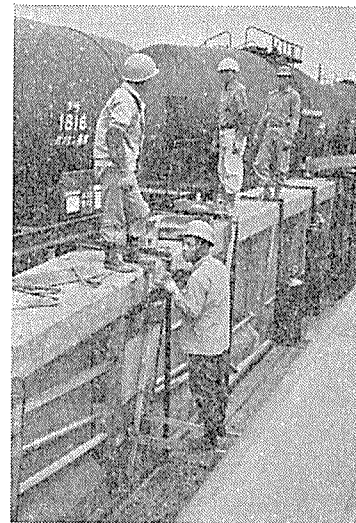


写真-9 緊張作業



ウト指針案」によった(表-13)。

表-13 グラウト配合

流下速度 (sec)	セメント (kg)	水 (kg)	ポゾリス No. 8 (g)	アルミ粉末 (g)
11~13	50	20	125	2.5

写真-10 グラウト工

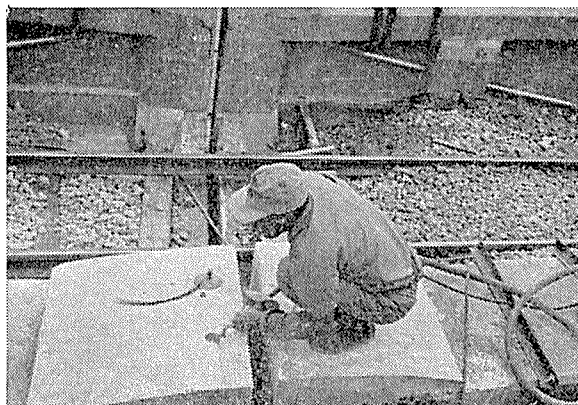
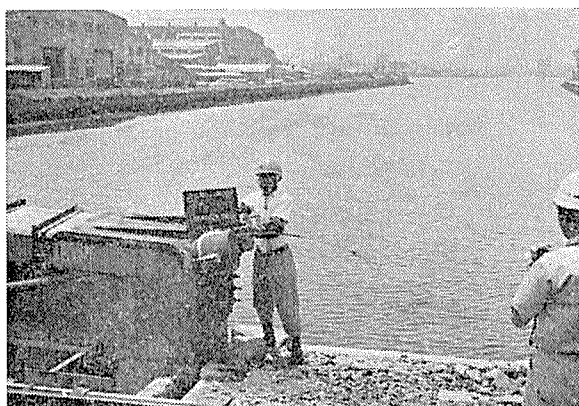


写真-11 グラウト工



ることは不可能であり、したがって、実際の重荷重を通行させる前に「補強検討荷重」による載荷試験を実施することはできず、かつ補強工事竣工後、最初に本橋を通行する「実荷重」の通行時にある程度以上の精度と規模を期した載荷試験を実施することは、実際の列車編成とその運行計画とから判断して非常に困難がともなううえ実際にここを通行する最初の「重荷重（大型変圧器）」の実重量が約 180 t で、それ以後も、これが 200 t を越えることは、ほとんどないと想定されたからである。

そこで、この場合「4-4 軸複式ボギー大物車シキ170」に積載荷重 135 t を満載したものを「試験荷重」として載荷試験を実施、本橋の構造機能の健全性を確認したうえで、さらに、最初の「重荷重（180 t 大型変圧器）」の通行時にも簡単な測定試験を実施し、その結果と載荷試験結果とを比較対照することによって、本橋の重荷重通行に対する安全性を推量するものとした。

(1) 試験の概要

試験種目は、

- 1) 橋体コンクリート強度試験
- 2) 重荷重載荷試験
 - ㊤ 静的載荷時の支間中央部のひずみ度測定
 - ㊦ 静的載荷時の支間中央点のたわみ測定

とし、これに参考種目として、

㊧ 動的載荷時の支間中央部のひずみ度測定を補足するものとした。

これらのうち、1) 橋体コンクリート強度試験は、補強工事において、P C 鋼材配置のために主桁ダイヤフラムをせん孔した際に採取した橋体コンクリートを、キャッピングなどによって成形した供試体について実施した圧縮強度試験であり、2) 重荷重載荷試験は、前述のように、「4-4 軸複式ボギー大物車シキ 170A : 積載荷重 135 t」を用いて実施した静的ならびに動的載荷試験である。載荷試験のうち、㊧ 動的載荷時の支間中央部のひずみ度測定は、本橋の補強工事に併行して実施された本橋梁区間の軌道強化工事によって「重荷重」通行時の走行性（衝撃）が改善されたか否かを、傾向的に把握することを目的として行なわれたものである。

載荷試験の方法は、3. で述べたと同様であるが、今回は、新たに試験種目として ㊦ 静的載荷時の支間中央点のたわみ測定を追加し、レーザー光線利用のトランシットを用いて測定を実施した。

(2) 試験の結果

a) 橋体コンクリート強度試験 橋体各部から採取した橋体コンクリート円筒体を、直径 $\phi 56 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ （円筒体上下面のキャッピング厚さを含めて）に切断成形した全数 12 個の供試体について実施した試験結果は表-14 に示すとおりで、圧縮強度は $550 \sim 720 \text{ kg/cm}^2$ の間にばらついており、平均圧縮強度は 612 kg/cm^2 となっている。

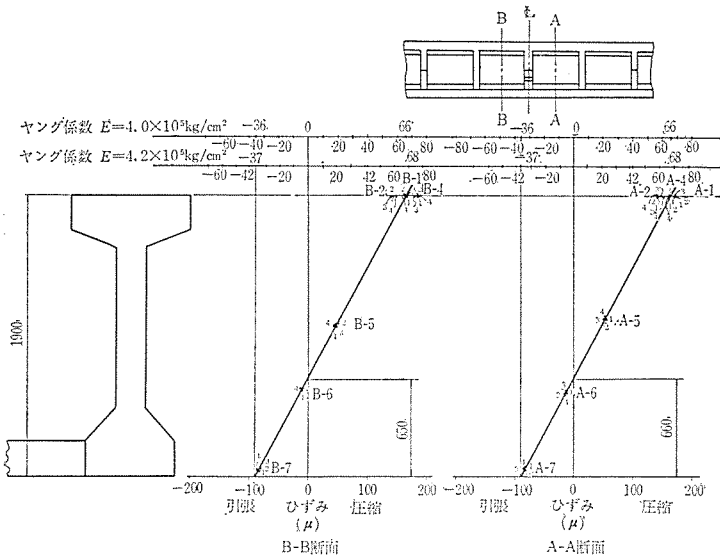
表-14 コンクリート強度試験値

供試体番号	試験月日	強度 (kg/cm ²)
1	昭和 46 年 7 月 14 日	550
2	〃	597
3	〃	682
4	〃	558
5	〃	568
6	〃	663
7	〃	576
8	〃	589
9	〃	650
10	〃	609
11	〃	577
12	〃	720
平均強度		612 kg/cm ²

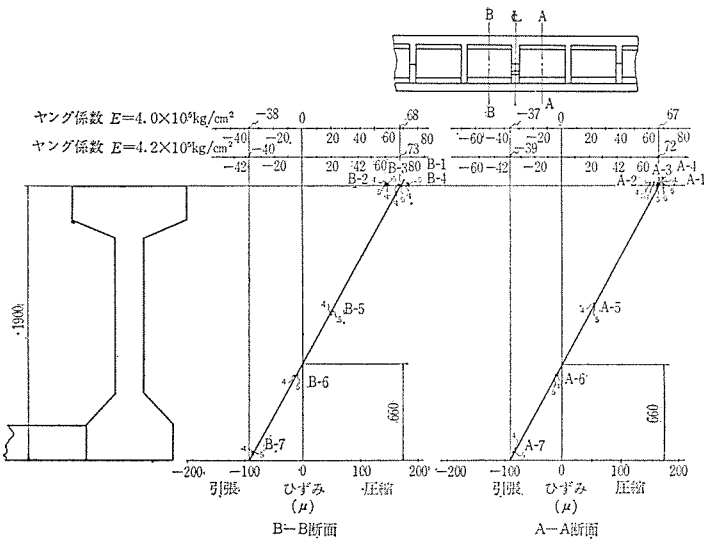
第1セメント (株) 川崎工場において

供試体の寸法を考慮した圧縮強度補正係数として 0.9 を用いるものとしたので、橋体コンクリートの圧縮強度は、今回の試験から判断する限り、ほぼ $612 \times 0.9 \doteq 550 \text{ kg/cm}^2$ 程度はあるものと考えてよいと思われる。この結果は、前回のシュミットハンマーによる橋体コンクリート圧縮強度測定試験の結果 “平均 540 kg/cm^2 以上”

図—15 静的載荷試験ひずみ度応力分布図（空車がない場合）



図—16 静的載荷試験ひずみ度応力分布図（空車がある場合）



という値と、きわめてよく近似しており、橋体コンクリート圧縮強度として、ごく適正な評価であろうと考えられる。

b) 重荷重載荷試験

1) 静的載荷時の支間中央部のひずみ度測定：静的載荷時の測定試験によって得られたひずみ度分布を、図—15, 16 に示す。前者は「試験荷重」列車編成の関係で、「4-4 軸複式ボギー大物車シキ 170 A：積載荷重 135 t」に接続したけん引用空車の軸重（4.5 t、1 軸のみ併載されるのが常態）が作用しなかった場合であり、後者はそれが作用した場合である。両者の絶対最大曲げモーメント値は、衝撃の影響をのぞくとそれぞれ、527 t-m、536 t-m で、その差は 2% 弱であり、この種の測定試験の精度から考えてほとんど無視できる程度のものであって、分離して考える必要はないと考えられる。

これらのひずみ度分布図から判断すると、断面中立軸は桁下縁より 65~66 cm の位置にあることが明らかで、これは、計算値 66 cm と完全に一致している。また、橋体コンクリート強度試験の結果などから、本橋の橋体コンクリート圧縮強度を 540~550 kg/cm² と評価し、それに対してヤング係数を 400 000~420 000 kg/cm² 程度と推定すると断面上・下縁のコンクリート応力度は、「試験荷重」作用時の計算値、上縁 64 kg/cm²、下縁 -34 kg/cm² と 10% 程度の誤差の範囲でよく一致している。

これらのことから判断して、本橋は、「補強工事」によって種々手が加えられたが、その後も構造物として十分に健全であり、下路桁としての機能を完全に果していると推論して、さしつかえないことが示されたものと考えられる。

2) 静的載荷時の支間中央部のたわみ測定：静的載荷時の支間中央部のたわみ測定結果を 表—15、図—17 に示す。測定精度からみて、これらの測定結果には、±0.5 mm 程度の誤差が含まれるものと考えなければならない。また、「試験荷重」作用時の支承（ゴム系）の変形の影響も特に消去していないのでこれらも考慮に入れて測定結果の判断をする必要がある。

計算値は、

$$E_c = 400\,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ とした場合 } 7.8 \text{ mm}$$

$$E_c = 420\,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ とした場合 } 7.3 \text{ mm}$$

であるから、測定結果は、計算値とよく一致しているとみてよい。

表—15 たわみ測定結果

- ① 「試験荷重」東芝側より入橋（後輪使用）
 - ② 「試験荷重」塩浜側より入橋（後輪、前輪、使用）
- 載荷状態 A'：前輪または後輪の心皿が A' に載荷
載荷状態 B'：前輪または後輪の心皿が B' に載荷

載荷状態	① 東芝側よりみて		② 東芝側よりみて	
	右主桁 (羽田側)	左主桁 (横浜側)	右主桁 (羽田側)	左主桁 (横浜側)
B'	7.5	8	後輪	7.5
			前輪	—
A'	7.5	8	後輪	7.5
			前輪	8.0

* 前輪を「試験荷重」として用いた場合には、図—17 から明らかなようにけん引用空車の軸重（4.5 t 1 軸のみ）が作用するので、前述のように、ごくわずかながらその影響が入る。

図-17 たわみ測定要領図

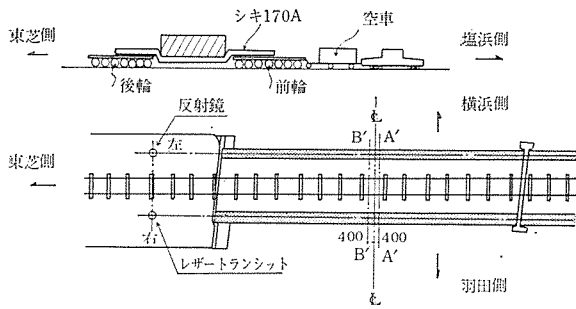


図-18 動的ひずみ測定載荷状態

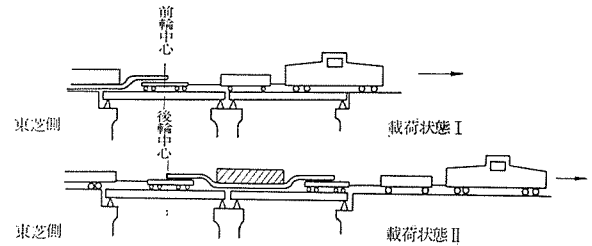


写真-12 載荷試験荷重

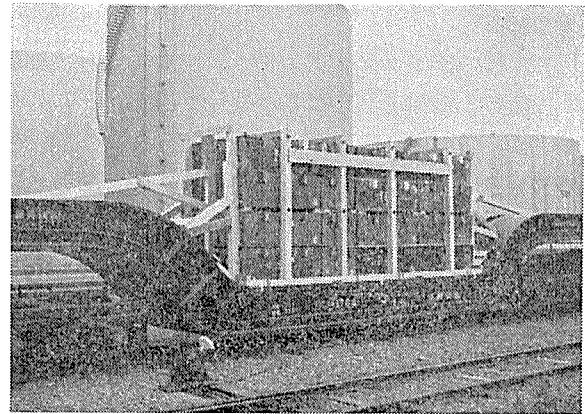
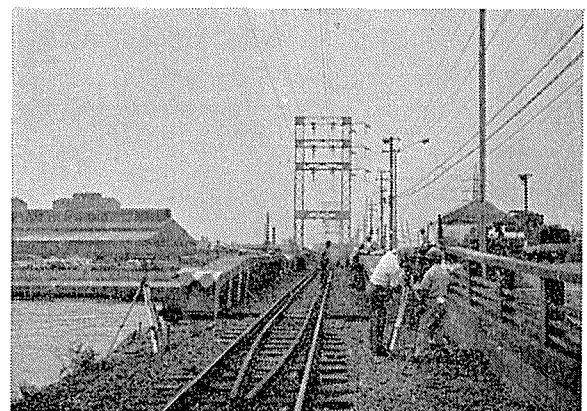


写真-13 載荷試験測定計器



写真-14 たわみ測定計器



これは、橋体コンクリートのヤング係数を上記のように推定したことが適正であるとした場合には、本橋のもつ幾何学的な断面性能にも特に異常がないこと、すなわち、主桁、床版などの形状・寸法ならびにそれらの合成作用についても問題がないと判断してさしつかえないことを示すものである。

3) 動的載荷時の支間中央部のひずみ度測定：動的載荷時の支間中央部のひずみ度測定結果は、実際には、4回（通行速度：14.5 km/h, 15.7 km/h, 20.6 km/h, 21.8 km/h）の試験ごとに、載荷状態Ⅰ（前輪心皿支間中央）、載荷状態Ⅱ（後輪心皿支間中央）で、データシートに「ノッチ」を入れて、そのおのおのについての測定結果を得ているが、載荷状態による差はまったく認められなかった。

各データシートから読取った動的載荷時（載荷状態Ⅰ、Ⅱ）の支間中央部のひずみ度（ひずみ度波形平均値）を一覧表にまとめたものが表-16で、これらの結果は、すべて、静的載荷時の測定結果とよく一致していることがわかる（表-16、図-18）。

表-16 動的ひずみ一覧表

試験番号	速度	載荷状態	ストレインゲージ番号			
			A-3'	A-4'	B-3'	B-4'
ϵ_{ST}	0		155	164	150	180
ϵ_{DST}	0		162	172	159	173
(1) $\epsilon-15/1$	14.5	I	162	171	158	173
		II	161	170	158	171
(2) $\epsilon-15/2$	15.7	I	162	171	158	173
		II	162	170	157	172
(3) $\epsilon-20/1$	20.6	I	161	171	157	172
		II	160	170	157	171
(4) $\epsilon-20/2$	21.8	I	161	171	157	171
		II	160	171	157	171

ϵ_{ST} ：静ひずみ計による測定値 (μ)

ϵ_{DST} ：動ひずみ計による静ひずみ測定値 (μ)

動的載荷試験の主要目的である衝撃係数の測定については、動的ひずみ測定結果からは、實際上、ひずみ度波形の平均値とひずみ度の変動量の比をもって表現しうる

ほどの衝撃作用が認められず、数値的関連を示すことは不可能であったが、補強工事前の重荷重載荷試験の動的載荷試験結果と比較すると、3.に示したものよりさらに

報 告

衝撃係数は小さくなっている。すなわち、本橋の軌道強化工事によって、走行性（衝撃）が改善されていることが明らかである。

したがって、橋体に及ぼす荷重作用の変動率としての衝撃係数は、最大曲げモーメント発生の載荷状態で、せいぜい 0.02~0.03 程度にすぎないとみてよいものと考えられる。

（3）結 論

本載荷試験の結果から、次のような結論が導き得ると考えられる。

1) 本橋の橋体コンクリートは、平均 540~550 kg/cm² 程度の圧縮強度を有しているものとみなしうる。したがって、仮に相当程度の変動係数を予想したとしても橋体コンクリートは、部分的にも、設計基準強度 $\sigma_{ck}=450$ kg/cm² を下まわらぬおそれはなく、品質的にはまったく問題はない。なお、試験結果からみて、その均質性もほぼ確保されているものとみなしてさしつかえない。

2) 本橋は構造的に健全であり、下路桁としての機能を十分に発揮しているものとみなしうる。すなわち、主桁と床版の合成作用も完全であり、本橋のもつ幾何学的な断面性能などについても、特に異常はないものと考えられる。これは、次のような試験結果から推定しうるものである。

㊤ 重荷重（4-4 軸複式ボギー大物車）載荷時の測定ひずみ度ならびに、たわみが計算値とよく一致していること。

㊦ 測定ひずみ度分布から得られる本橋の断面図心線は下縁からほぼ 66 cm であり、これも、計算値とよく一致していること。

3) 本橋に重荷重を載荷した複式ボギー大物車が 15~20 km/h 程度の低速度で通行する場合には、衝撃係数はきわめて小さく、せいぜい 0.02~0.03 程度とみてよい。

以上のことから判断して、本橋の補強工事後における

構造的健全さと下路桁としての機能性については、3.で述べた「重荷重載荷試験」の結果とあわせて、十分に証明されたものとみてよい。

また、補強工事の成果とあわせて判断すると、本橋に重荷重「3-3-3 軸複式ボギー大物車シキ 610（最大積載荷重 240 t）」を通行せしめることについて特に問題はないと思われる。

付 記

昭和 46 年 8 月 31 日、はじめての重荷重：186.5 t 大型変圧器が「3-3-3 軸複式ボギー大物車シキ 610」に載荷されて本橋を通行したが、その際にも、動的載荷状態でのひずみ度測定試験を実施して、良好な結果を得た。

あ と が き

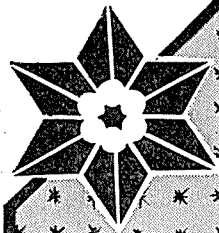
本報文に述べた各種報告のうち、1,2 に述べた重荷重通行に対する応力的な検討ならびに補強のための検討は（株）日本構造橋梁研究所が、3,5 の重荷重載荷試験は神奈川臨海鉄道（株）、東京芝浦電気（株）が、4 の補強工事は興和コンクリート（株）が、それぞれの主務者としての責任において実施したが、とくに（株）日本構造橋梁研究所が、総合的な管理者として終始その責任を負担した。長期にわたる困難の多い業務であったが、関係各社の協力のもとに、きわめて満足すべき結果が得られたことは同慶の至りである。

本報文は、神奈川臨海鉄道（株）、東京芝浦電気（株）興和コンクリート（株）各社の了解を得て発表したものである。各社の関係各位に対し深く感謝の意を表して報告の結びとするものである。

なお、（株）日本構造橋梁研究所副社長 猪股俊司博士からは、終始われわれの直接の上司としての適切なる指導と助言を与えられた。本業務の成功の大半はこれらの指導と助言の賜といっても過言ではない。あえて付記して謝意を表するものである。

1972.3.27・受付

東京製鋼製品



PPC

JIS G 3536

鋼線・鋼より線
BBR工法鋼線
多層鋼より線 (19~127本より)

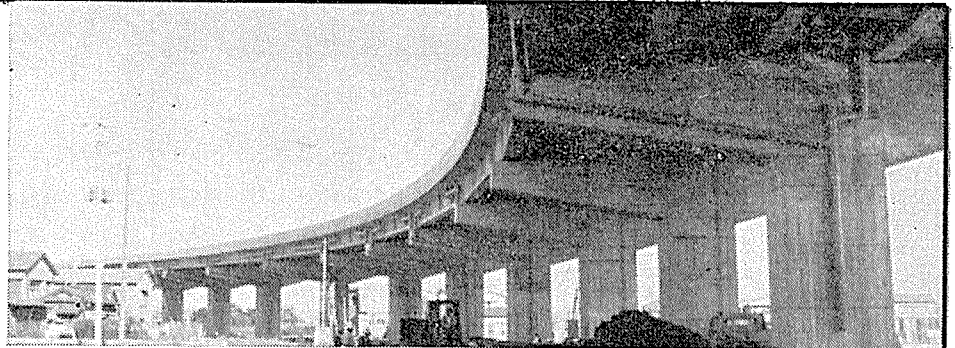
製造元 東京製鋼
発売元

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階
電話 (211) 2851 (大代表)

K

鋼弦コンクリート

設計
施工
製造



首都高速道路7号線

富士ピー・エス・コンクリート株式会社

取締役社長 山崎 銚 秋

- | | |
|-----------|--|
| 本店 | 福岡市天神二丁目12番1号 天神ビル (〒810)
電話 福岡(092)76-5027・74-2374・74-0291 (75-6031-内線317・346・347) |
| 福岡支店 | 福岡市天神二丁目14番2号 証券ビル (〒810)
電話 福岡(092)74-7963・78-3961・75-1343 (75-1961-内線235・230) |
| 建築事業部 | 福岡市天神二丁目12番1号 証券ビル (〒810)
電話 福岡(092)77-4029 (75-1961-内線222) |
| 大阪支店 | 大阪市北区芝田町97 新梅田ビル (〒530)
電話 大阪(06)372-0382~0384 |
| 東京支店 | 東京都港区新橋四丁目24番8号 第二東洋海事ビル (〒105)
電話 東京(03)432-6877~6878 |
| 営業所
工場 | 大分営業所・宮崎営業所・広島営業所
山家工場・大東工場・関東工場・下淵作業所・筑豊工場・甘木工場・夜須分工場・大村分工場 |