

【土木学会論文集 第360号／V-3 1985年8月】

■調査・報告■

耐久性の優れたコンクリート構造物——鉄道構造物——

STUDIES ON THE DURABILITY OF OLD RAILWAY CONCRETE STRUCTURES

谷内田昌熙*・石橋忠良**・小林明夫***

By Masaki YACHIDA, Tadayoshi ISHIBASHI and Akio KOBAYASHI

1. まえがき

最近コンクリート構造物の早期劣化が問題となってい
る。建設してからわずか数年ないし十数年で、過大なひ
びわれや鉄筋腐食を生じているものが一部にみられ、コン
クリートは從来半永久的な耐久性を有するものと思わ
れてきただけに、コンクリート構造物に対する信頼感が
揺らいでいることは否めない。

しかし元来コンクリートは耐久性においてきわめて優
れており、数十年以上にわたる耐久性を有する所要の構
造物をつくることができる有用な材料であることは間違
いのない事実である。

日本で鉄筋コンクリートが初めて用いられたのは明治
末期で、今日までに 80 年以上を経過しているが、
この間につくられた構造物で長年にわたり耐久性に優れ
今なおその機能を十分果たしているものが数多くある。
このような古いコンクリート構造物が、いろいろな条件
下で現在どのようにになっているかを特に耐久性の観点か
ら再検討してみると興味深いことと思われる。幸い
鉄道構造物には古いものが多く、記録もかなり保存され
ているので次のような検討を試みた。

まず検討対象とする構造物の建設年代を昭和 20 年まで（経年 40 年以上）とし、この間にどのようなものが
つくられたか、その基本となった設計、施工関係の示方
書類がどうであったか、最近 10 年間に行われた補修の
実態がどのようであったか等について調査を行った。

次に、各種の構造形式を代表するとともに各年代を代
表するできるだけ古いコンクリート構造物の中から、置
かれている環境条件の差異、建設当時の記録の有無等も
考慮したうえで、耐久性に優れ今なお十分機能を果たし
ていると思われる 5 つの構造物を取り上げ検討を行つた。

最後にこれらを総括して耐久性に優れたコンクリート
構造物に対する全般的な考察を行つた。以下にそれらの概
要を報告する。

2. 明治から昭和初期に建設された構造物

(1) 建設概要

a) 明治時代のコンクリート構造物

鉄道構造物が鉄筋コンクリートでつくられ始めたのは
明治末期からで、鉄筋コンクリート橋梁としては、明治
37 年山陰線米子—安来間の島田川アーチ型暗きよ（ス
パン 1.8 m）が最初のものである。その他井筒基礎のみ
をコンクリートでつくったものが明治 44 年大分線にあるが、
橋梁全体が鉄筋コンクリートでつくられたのは大正時代になつてからである。

b) 大正時代から昭和初期のコンクリート構造物

大正 7 年、山手線巣鴨駅構内に跨線道路橋として鉄筋
コンクリート T 形桁が建設されたが、鉄道橋としての最
初の鉄筋コンクリート桁は、大正 13 年に建設された房
総線山生橋梁である。山生橋梁は、海岸線に近いため鉄
桁の腐食を考慮して鉄筋コンクリート桁でつくられたものである。

鉄筋コンクリート高架橋としては、大正 4~8 年にかけ
て施工された東京一萬世橋間の高架橋が最初で、この
高架橋は鉄筋コンクリートアーチとレンガ側壁、鉄筋コ

* 正会員 国鉄構造物設計事務所次長
(〒151 渋谷区代々木2-2-6)

** 正会員 工博 国鉄構造物設計事務所主任技師（同上）

*** 正会員 国鉄構造物設計事務所主任技師（同上）

ンクリート単純版あるいは連続版と壁式橋脚などの組合せにより建設されており、当時の鉄道のコンクリート技術を大きく進歩させた。またこの間には最初の鉄筋コンクリートアーチ橋である外濠橋（スパン 38.1 m）も含まれている。

神田一上野間高架橋は、大正 9~14 年にかけて施工されている。この高架橋は、途中に神田川アーチ橋（スパン 32.9 m）をはさみ、鉄筋コンクリートラーメン橋脚上にスパン 4.6 m の単版または 3 径間、5 径間の連続版を組み合わせた構造である。なお、基礎には鉄筋コンクリート杭が用いられている。

昭和初期には、新線の建設、既設線の改良が盛んに行われ、これに伴いラーメン高架橋をはじめ、アーチ、下路桁等の鉄筋コンクリート構造物が各地で多く施工され

表一 明治・大正時代の主なコンクリート構造物

種別	年次	構造物	備考
暗きよ	明治 37 年	山陰線、島田川橋梁（スパン 1.8 m、アーチ暗きよ）	最初の RC 橋梁
水路橋	明治 42 年	日豊線、奥羽線に鉄筋コンクリート水路橋	
井筒	明治 44 年	大分線にコンクリート井筒	
擁壁	大正 2 年	東海道線品川付近（八ツ山）	最初の RC 擁壁
T 形桁	大正 7 年	山手線篠鶴駅構内跨線道路橋（スパン 9.4 m および 10.46 m）	
高架橋	大正 13 年	房総線山生橋梁（スパン 9.75 m 16 連）	最初の RC 桁
	大正 4 年 ～ 8 年	東京～万世橋間高架橋 鉄筋コンクリートアーチ、レンガ側壁 鉄筋コンクリート単純版と壁式橋脚 鉄筋コンクリート連続版と壁式橋脚 ・白旗橋付近ラーメン高架橋 ・外濠アーチ橋（スパン 38.1 m）	最初の RC 高架橋
	大正 9 年 ～ 14 年	神田一上野間高架橋 鉄筋コンクリート単純版と壁式橋脚 鉄筋コンクリート連続版とラーメン橋脚 ・神田川アーチ橋（スパン 32.9 m）	最初の RC アーチ
橋脚	大正 15 年	東海道線馬入川橋梁（鉄筋コンクリート中空橋脚）	

表二 昭和 1~20 年の主なコンクリート構造物

種別	年次	構造物	備考
高架橋	昭和 3 年	大阪臨港線高架橋（スラブ式ラーメン）	
	昭和 4 年	秋葉原付近高架橋	最初のフラットスラブ式ラーメン
	昭和 6 年	神戸市街線高架橋第 1 期	最初のビームスラブ式ラーメン
	昭和 7 年	城東線高架橋（ビームスラブ式ラーメン）	
	昭和 13 年	総武線高架橋（ビームスラブ式ラーメン）	
アーチ橋	昭和 9 年	神戸市街線高架橋第 2 期	
	昭和 11 年	今坂線眼鏡アーチ橋（スパン 34 m）	
	昭和 12 年 ～ 15 年	土幌線第 3 音更橋（スパン 32 m） 日影線網の瀬 雀川線第 2 領地、之谷川、新開、舟平 只見線第 4 平石川 川口線大谷川 釜石線宮寄川 坂本線第 1 円生	
ゲルバー桁	昭和 16 年	大糸線第八下姫川橋（スパン 22.0 m）	RC 長大スパン桁
下路桁	昭和 12 年	二俣線西の沢架道橋（スパン 10 m）	
	昭和 15 年	中央線勝川架道橋（スパン 7.5 m）	

ている。高架橋の構造形式は、大正末期はラーメン橋脚上に版を載せた構造であったが、昭和以降はビームスラブ式ラーメン構造とフラットスラブ式ラーメン構造が主要な形式となった。フラットスラブ式は、昭和 4 年に秋葉原付近高架橋に用いられたのが最初である。

一方桁橋については、スパンを大きくするためにゲルバー形式が用いられ、昭和 16 年当時としては最大スパンの大糸線第八下姫川橋梁（スパン 22.0 m）が建設された。また、昭和 12 年には二俣線にスパン 10 m の下路桁が初めて建設された。

明治、大正および昭和 20 年までに建設された主なコンクリート構造物を表一、2 に示す。

(2) コンクリート関係示方書の変遷

a) 設計に関する示方書

コンクリートおよび鉄筋コンクリート構造物が各地に建設されるようになり、設計、施工の基準の制定が要望されるようになった結果、明治 42 年大河戸宗治氏により外国の示方書を範例とした鉄筋コンクリート設計施工の示方書の案が作られた。その後、これを基礎として検討が加えられ、コンクリートの基準としては最初のものとして、大正 3 年達第 684 号「鉄筋コンクリート橋梁設計心得」が制定された。これには、荷重、許容応力度、部材の設計、構造細目、材料、施工法、型枠など設計ならびに施工に関する多くの事項が含まれ、鉄道橋のみでなく道路橋その他の構造物にも適用できるものであった。

設計心得が制定されて以降コンクリート構造物も数多くつくられ、設計・施工の通則を整理するため、昭和 3 年に土木学会にコンクリート調査会が設置され、昭和 6 年「鉄筋コンクリート標準示方書」が作成された。なお、この標準示方書は昭和 11 年に第一次、昭和 15 年に第二次の改訂が行われている。

昭和 20 年までのコンクリート設計関係示方書の変遷を表三に示す。なお、表三には、荷重、許容応力度および特に耐久性に影響の大きい最小かぶり等に関する主な規定を記した。

b) 施工に関する示方書

コンクリートの基準としては最初の

表-3 コンクリート設計関係示方書の変遷

示 方 書 名	鉄筋コンクリート橋梁 設計心得 (大正3年) 達684号	鉄筋コンクリート標準 示方書土 (昭和6年) 土木学会	鉄筋コンクリート標準 示方書 (昭和15年) 土木学会	備 考
荷重に関する事項	○死荷重：材料の単位重量 鉄筋コンクリート 2400 kg/m^3 コンクリート 2240 kg/m^3 ○列車荷重： 甲種荷重E45(KS-20相当) 乙種荷重E40(KS-18相当) ○このほか、衝撃荷重、横 荷重、総荷重、風圧、温 度変化による影響等を規 定している。 ○地震については規定なし ○公道橋に作用する動荷重 についても規定している。	○死、活、衝撃荷重は、法 令の規定によること。 ○地震の加速度は、水平 $g/5$ 、鉛直 $g/10$ を標準とし、 死荷重に対してのみ作用 させる。地震力を考慮し た場合の許容応力度の割 増は、1.5倍。 ○温度変化は、 $\pm 15^\circ\text{C}$ 、ただ し、厚さ 70 cm 以上の部 材に対しては $\pm 10^\circ\text{C}$ ○硬化収縮は温度低下 15 $^\circ\text{C}$ に相当する影響とする。	同 左	国鉄における列車荷重の変遷 明治42年達522号 E 33 (KS-15相当) 明治45年達111号 E 40 (KS-18相当) E 33 (KS-15相当) 大正3年達684号(設計心得) E 45 (KS-20相当) E 40 (KS-18相当) 大正10年、建設規程主要線は E 40 とし E 45 は用いず 昭和4年、建設規程 KS 荷重 体系に変更
許容応力度 (kg/cm ²)	軸 方 向 圧 縮 (400 lb/in^2) 28 曲 げ 圧 縮 (600 lb/in^2) 42 コンクリートのみ 折曲げ鉄筋またはス ターラップのみ使用 折曲げ鉄筋とスター ¹⁾ ラップ併用 支 てん 鋼 筋 引 張・圧 縮	$\sigma_{28}/4$ 50 以下 $\sigma_{28}/3$ 65 以下 $\sigma_{28}/4$ 4.2 $\sigma_{28}/3$ 5.6 $\sigma_{28}/4$ 9.8 $\sigma_{28}/3.5$ 55 以下 引張強度 $\sigma_{su}=3900 \sim 4500$ $\sigma_{28}/3.5$ 1050	$\sigma_{28}/4$ 55 以下 $\sigma_{28}/3$ 70 以下 4.5 14 14 $\sigma_{28}/3.5$ 60 以下 JES 第 20 号 G 9 $\sigma_{su}=3900 \sim 5200$ $\sigma_{28}/3.5$ 1200	1) 鉄筋コンクリート橋梁設 計心得のコンクリート許容 応力度は容積配合 1:2:4 に対応するものである。1: 3:6 の場合は 75 % とする。 2) 土木学会標準示方書は昭 和11年に第一次、昭和15 年に第二次改訂が行われて いる。
最小かぶり (cm)	ス ラ ブ は 柱	厚さ 10 cm 以下 (0.5 in) 1.3 厚さ 23 cm 以下 (0.75 in) 1.9 (1.0 in) 2.5 (1.5 in) 3.8	1.0~3.0 1.5~3.5 2.0~4.0	同 左

ものである「鉄筋コンクリート橋梁設計心得」(大正3年)には、材料および施工に関する規定も含まれている。材料については、セメント、砂、砂利、鉄筋、水等の規格が示されており、また施工については、コンクリートを乾コンクリート(硬練りコンクリート)と湿コンクリート(軟練りコンクリート)に区別して、鉄筋コンクリートの場合には一般に湿コンクリートを使用することとし、突固めの容易な版などにおいては乾コンクリートを用いて十分突き固めることとしている。乾コンクリートを使用する場合には、鉄筋にあらかじめモルタル(セメント、砂1:1)を塗っておくことなどが定められている。

大正6年には、達1060号「土木其他工事示方書」が設計心得とは別に施工の基準として制定された。この示方書には、材料関係では骨材、鋼材、レンガ、石材について定められているが、セメントは支給品となっているため規定されていない。また、施工関係では、コンクリートの配合について突込みと流込みに区分し、それぞれ水の使用量の標準が定められている。

この工事示方書は、個々の構造物に適用する場合、該当条項をあちこちから拾い上げねばならない不便さが

あったため、再整理して大正10年に工回第1440号「土木及建物工事示方書」が制定された。

その後昭和10年には、この工事示方書は土木学会の標準示方書に従って改訂されている。昭和20年までの施工関係示方書の変遷を表-4に示す。なお、表-4には、セメントの規格、コンクリートの配合および施工に関する事項についても主な規定を記した。

(3) コンクリート構造物の変状

国鉄のコンクリート構造物について過去10年間(昭和49~58年)の変状の補修実績を調査した。コンクリート構造物の補修件数は、国鉄全体でこの10年間に約3000件であった。

この補修実績を構造物の建設年代別に区分すると図-1のようになる。また、この補修件数と各年代に建設され現存している構造物の総件数との比を補修率として概算すると、明治時代のもの5%, 大正時代のもの3%, 昭和1~20年のもの2%, 昭和21~40年のもの1%, 昭和41年以降のもの1%である。一方、各年代の構造物の変状を内容別に分類すると図-2のようになる。

なお、これらの調査は、膨大な構造物を対象としてお

表-4 コンクリート施工関係示方書の変遷

示方書名	鉄筋コンクリート橋梁設計心得 達884号(大正3年)	土木其他工事示方書 達1060号(大正6年)	土木及建築工事示方書 工回1440号(大正10年)	鐵筋コンクリート標準示方書 土木学会(昭和6年)	土工其他工事示方書(改訂) 建工509号(昭和10年)	鉄筋コンクリート標準示方書 土木学会(昭和10年)
セメントの規格	支給材料となつたため、品質についての規定なし	支給材料となつたため、品質についての規定なし	支給材料となつたため、品質についての規定なし	商工省告示第41号、42号に合格するボルトランドセメントとする。	—	—
コンクリートの配合および施工 に関する示方	○容積配合 1:2:4 および 1:3:6 ○部材の突固めの難易により乾コンクリートと湿コンクリートに分けて施工する。 ○鉄筋コンクリートは、湿コンクリートを使用することを普通とする。 ○コンクリートを 6 ft (1.8 m) 以上より投下しないこと。 ○突固めは、コンクリート中に空隙が残らず、かつ鉄筋の周囲にモルタルが十分まわるように突き固めること。	○標準的な配合として、容積比でセメント1に対し砂2.3, 3.5, 4, 砂利3.5, 4, 5, 7 の割合とする。 ○水の分量は、砂容積に対して突込のとき 41~46 % 流込むとき 35~40 %	○標準的な配合として、容積比でセメント1に対し砂2.3, 4, 砂利4, 6, 8 の割合とする。 ○水の使用量の標準は明示していない。	○配合はセメント、細骨材、粗骨材の容積比で表わすものとする。 ○W/Cは試験によって定め、試験によらないときは、次の値を標準とする。 $\sigma_{bs} (\text{kg/cm}^2)$ 普通セメント使用 300~400 $\sigma_{bs} = -70 + 105 C/W$ 400~500 $\sigma_{bs} = -90 + 135 C/W$ 500 以上 $\sigma_{bs} = -150 + 190 C/W$ ○繰り返し振動機を用いる場合は、コンクリートの配合、振動時間等について責任技術者の指示にすること。	○配合は重量または、容積比で表わす。 ○W/Cは試験により定め、試験によらないときは、次の値を標準とする。 $\sigma_{bs} (\text{kg/cm}^2)$ 普通セメント使用 300~400 $\sigma_{bs} = -70 + 105 C/W$ 400~500 $\sigma_{bs} = -90 + 135 C/W$ 500 以上 $\sigma_{bs} = -150 + 190 C/W$ ○繰り返し振動機を用いる場合は、コンクリートの配合、振動時間等について責任技術者の指示にすること。	○配合はセメントからセメントメントおよびセメントと骨材の容積比で表わすものとする。 ○W/Cは試験によって定め、試験によらないときは、次の値を標準とする。 $\sigma_{bs} (\text{kg/cm}^2)$ 普通セメント使用 300~400 $\sigma_{bs} = -70 + 105 C/W$ 400~500 $\sigma_{bs} = -90 + 135 C/W$ 500 以上 $\sigma_{bs} = -150 + 190 C/W$ ○繰り返し振動機を用いる場合は、コンクリートの配合、振動時間等について責任技術者の指示にすること。

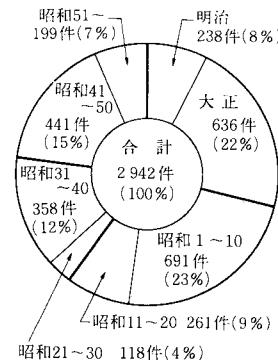
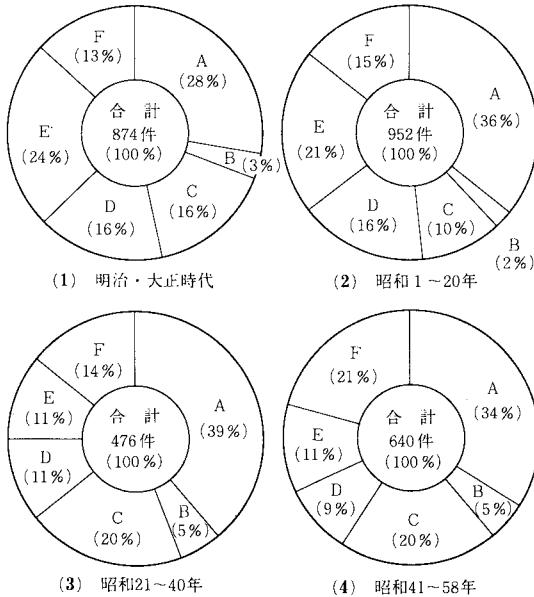


図-1 建設年代別過去10年間(昭和49~58年)の変状補修実績



り、その変状の形態は多岐に及び、補修方法にも大きな幅があるため、精度については問題があるが一応の傾向は読み取れるものと考えられる。

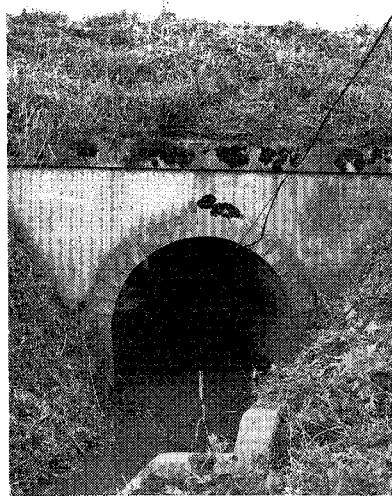
3. 耐久性の優れた構造物の代表例

(1) 山陰線島田川橋梁(明治37年)

a) 建設概要

① 全般

島田川橋梁は、山陰線米子—安来間にあり、明治37年に竣工したアーチ形の暗きよで、今日まで約80年を経ている(写真-1)。この暗きよは、鉄道として最初に



写真一 島田川橋梁

鉄筋コンクリートが橋梁に使用されたものである。

② 設計概要

構造は図-3に示すとおり、スパン 6 ft (1.83 m)、長さ 35 ft 4 in (10.80 m) の鉄筋コンクリートアーチ形暗きよである。なお、昭和 57 年の複線化工事の際はヒューム管によりこの暗きよへの継ぎ足しを行った。

主鉄筋の径は 1/2 in (約 13 mm) で、ピッチは約 1 ft (約 30 cm) と推定される。基礎には木杭が使用されているが、正確な杭長については不明である。

③ 施工概要

施工に関する記録がないので詳細はわからないが、鉄道技術発達史によれば、「当時は、鉄筋は鋸びてはいけないので磨かせていた。しかしせっかく磨いても、すぐ鋸びるのでやり切れず、かつドイツで、鉄は鋸びている方がかえってよいとされているとわかってから間もなく磨かないことになった。またコンクリートの配合などもわからず、粗骨材は普通の砂利ではなく碎石で

なければならぬと誤解し、ハンマーで角砂糖のような同じ大きさの四角の碎石ばかり揃えて造ったので、空隙が多くなり、予定より多量の砂、セメントを要することになった。」などとある。

b) 補修歴

保守台帳によれば、現在までのところ補修歴はない。しかし、現状の外観調査によると、両端の坑口付近約 2 m の範囲はモルタルを薄く塗布した跡があり、中間部のアーチ部分の表面にも小さな凹部にモルタルを詰めた跡があり、ある程度手を加えたようである。

c) 考察

① 現状調査

外観は正常な形を保っており、コンクリートにはひびわれ、はく離の変状は全くみられない。

シュミットハンマーによってコンクリートの強度測定をすると、平均値で、アーチ頂部：約 400 kg/cm²、アーチ起拱部：約 510 kg/cm² となっている。また、フェノールフタレインによる検査から、中性化はコンクリート表面から 1~2 mm 程度しか進んでいないことがわかった。鉄筋をはり出した結果、主鉄筋は径約 13 mm の丸鋼がピッチ 30 cm、配力筋は径約 13 mm の丸鋼がピッチ 50 cm で配筋されており、ほとんど錆はみられなかった。しかし、一部にモルタルの行き渡りが悪い場所があり、この部分はかなり中性化も進行しているようで、この中にある鉄筋は断面減少を生じるほどではないが錆びていた。かぶりは、主鉄筋まで約 6 cm である。また、鉄筋の継手はそれぞれの鉄筋の端を円形に加工してそれらを鎖状に継いでいる。

② 考察

ほぼ 80 年を経過した現在でも、外観に変状はなく、コンクリートの強度も十分にあり、中性化もほとんど進行しておらず、また、鉄筋の腐食もほとんどみられない状態であり、わが国最初の鉄筋コンクリート鉄道橋梁としては耐久性はきわめてよい。これらは、コンクリートの十分な締固めと十分な鉄筋かぶりによるところが大

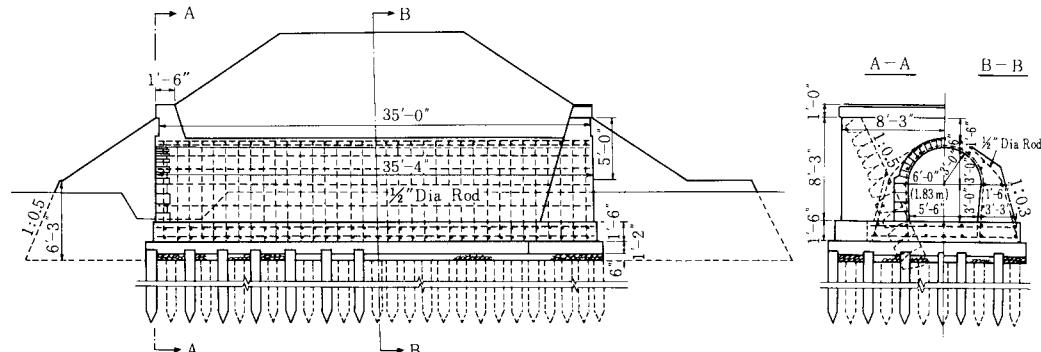


図-3 島田川橋梁一般図

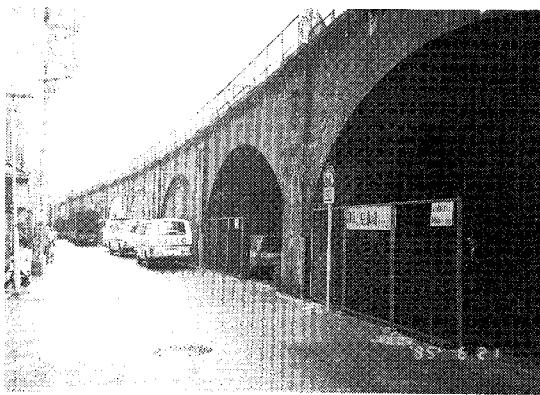


写真-2 東京一万世橋間高架橋

きいと思われる。また、現在のコンクリートと比較して、粗骨材が多いようである。

また、配筋状況をみると、鉄筋間隔は $30\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ となっており、鉄筋の交差部も現在の 2 倍ほどの長さの鉄線でしっかりと繋結されている。全体的にみて、80 年を経過したいまなお十分健全であるといえる。

(2) 東京一万世橋間高架橋 (大正 8 年)

a) 建設概要

① 全般

東京一万世橋（万世橋駅は昭和 18 年廃止）間市街高架線（現・中央本線）は、約 1 km の複線高架橋である。工事は大正 4 年に着工し、

途中第一次世界大戦による資材不足があり工事の進捗に影響を受けたが、同 8 年に完成した（写真-2）。

② 設計概要

東京一万世橋間の高架橋は、すでに明治 43 年に建設されていた東海道本線の金杉町から新橋を経て東京駅に至る間の連続レンガアーチ高架橋との統一性、経済性等を考慮し、鉄筋コンクリート連続アーチ橋とした。約 1 km の高架区間はスパン約 32 ft (9.75 m)，連続スパン数 2~14，合計 8 ブロック 64 径間の連続アーチ橋より成っている（図-4）。この高架橋では基礎に日本で最初の鉄筋コンクリート杭（径 12 in (30 cm) 長さ 18 ft (5.5 m) から径 18 in (46 cm) 長さ 50 ft (15.2 m) までの 12 種類）が用いられた。

列車荷重は電車専用線路として E 33 (KS 15 相当) とし、許容応力度等は「鉄筋コンクリート橋梁設計心得」によっている。

アーチの形状は曲げ応力ができる限り少なくなるよう形状を定め、主要な荷重に対し応力線とアーチ軸線が一致するように決めている。アーチリブの配筋は引張、圧

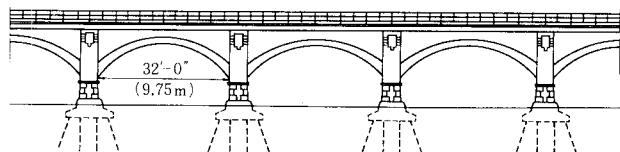


図-4 東京一万世橋間高架橋一般図

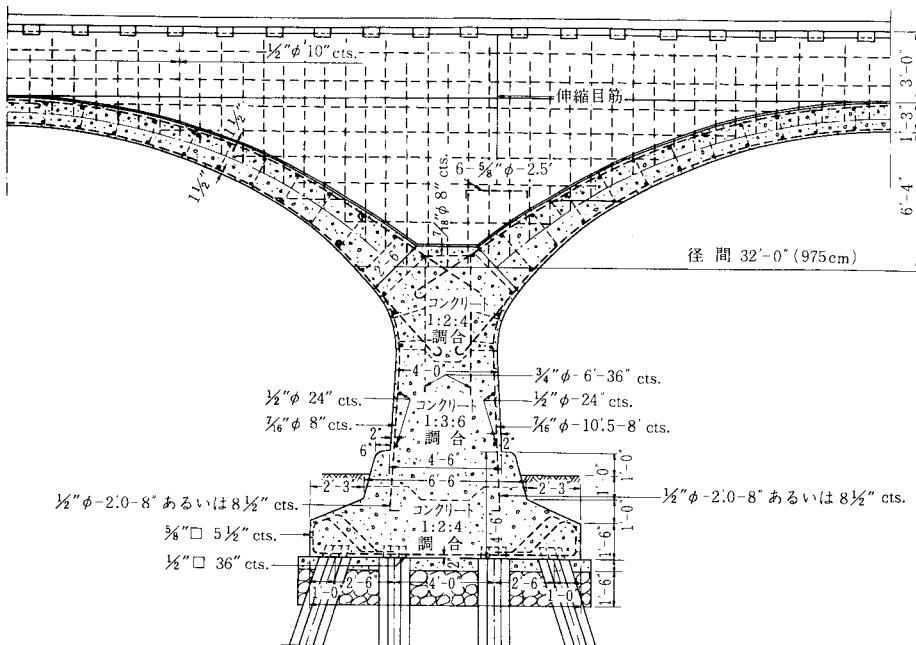


図-5 東京一万世橋間高架橋配筋図

縮側とも丸鋼径 5/8 in ($\phi 16$) を 8 in (20 cm) ピッチ、配力筋は 1/2 in ($\phi 13$) を 18 in (46 cm) ピッチに配置しており、かぶりは 1・1/2 in (4 cm) となっている。橋脚部は軸方向筋に 7/16 in ($\phi 11$) を 8 in (20 cm) ピッチ、配力筋には 1/2 in ($\phi 13$) を 24 in (61 cm) ピッチに配置しており、かぶりは 2 in (5 cm) となっている(図一5)。杭は径 18 in (46 cm) 長さ 45 ft (13.7 m) のものでは 7/8 in ($\phi 22$) を 8 本使用している。また両側面の土留壁には温度の影響を考え、各径間ごとに伸縮目地を設けている。

(3) 施工概要

アーチ高架橋の施工にあたっては、設計心得に記載されている内容以外に、特にこの高架橋のために基礎工事、上部工事等にわたり詳細な示方を行っている。

施工の順序は、まず杭を打ち込んだ後、杭頭から約 45 cm 根掘を行い、30 cm の厚さに割栗石を敷き、15 cm 厚のならしコンクリートを打設した上に鉄筋コンクリートアーチ高架橋を築造した。

アーチリブのコンクリートは橋軸方向にブロック割をして打設する横割工法を用いた。これはコンクリートの乾燥収縮による応力の影響を小さくすること、不同沈下による悪影響を防ぐこと、および全径間を連続して施工することが不可能な場合が多いこと等を考慮して採用したもので、1 径間を 7 ブロックに分割して施工を行った。このときアーチ頂部での上げ越しありは 1.2 cm になるようにした。支保工は全ブロック打設後 40 日以上経過したのち取り外しを行っている。

コンクリートの配合はアーチ本体と杭では 1:2:4、ならしコンクリートでは 1:3:6 の容積配合となっており、使用した砂および砂利は多摩川産あるいはこれと同等以上のもの、水は水道水というように工事示方書にのっとり厳しい管理が行われた。

b) 補修歴

補修記録の上では、一連の高架橋のうち黒門町高架橋の端部橋台に亀裂が生じ、昭和 52 年に鉄筋コンクリートで補強を行っているが原因等については不明である。その他の補修記録はない。

c) 考察

① 現状調査

本高架橋はほとんどが高架下を店舗、倉庫等に利用されており、アーチ下面は内装されているため詳細に調査することは非常に難しい。調査可能な一部区間のアーチリブには線路方向にひびわれ(約 1.0 mm ~ 3.0 mm 程度)が発生し、漏水していて遊離石灰が表面に現われている。またその間にはくもの巣状のひびわれがみられ、橋脚部には乾燥収縮によると思われるひびわれが多数発生している。フェノールフタレンを使用してコンク

リートの中性化を測定したが、中性化が部分的に進行(2 cm 程度)しているところもみられるが鉄筋の腐食にはいたっていない。鉄筋のかぶりは 3~4 cm と設計図どおりに確保されている。シュミットハンマーによる表面硬度ではアーチリブと両端の橋脚部の推定圧縮強度は 400 kg/cm² 程度である。

② 考察

東京一萬世橋間アーチ高架橋は、その原形を東京以南に建設されたレンガアーチ高架橋においているが、設計、施工においては綿密な検討を加え実施している。アーチ高架橋は支持地盤の良好な箇所に用いるのを原則としているが、この区間は杭基礎を使用しているにもかかわらず、60 数年経過した今日でも橋脚の不同沈下による変状はほとんどみられない。このアーチ式高架橋は圧縮力を受けるコンクリートの特性を十分に生かした構造である。また、コンクリートの品質については、コンクリートの表面にひびわれはかなりみられるが、中性化試験、圧縮強度試験およびハンマーによる打診音等を総合的に判断すれば、コンクリートの劣化はあまり進行していないと思われる。

(3) 内房線山生橋梁(大正 13 年)

a) 建設概要

① 全般

山生橋梁は内房線と外房線の境界に近い千葉県鴨川市(江見、太海間)にあり、大正 13 年に竣工したもので関東大震災の際は建設中であった。海岸の波打際に沿って建設されたので潮風による鉄桁の腐食を考慮して鉄道橋として初めて鉄筋コンクリート桁を用いた橋梁である(写真-3)。

② 設計概要

橋梁延長は 165 m で、小判形橋脚と単線 T 形桁(桁長 10.3 m, 16 連)から成っている。橋梁の高さは海面から 10 m 程度である。

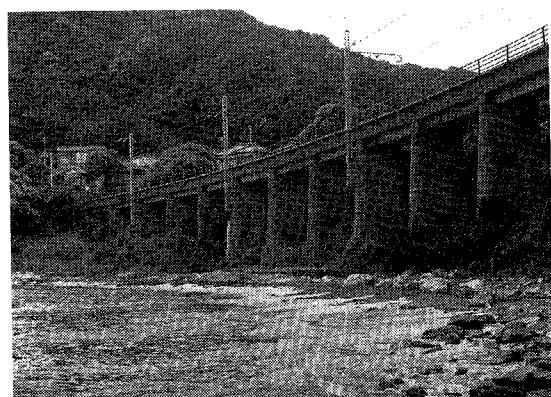


写真-3 山生橋梁

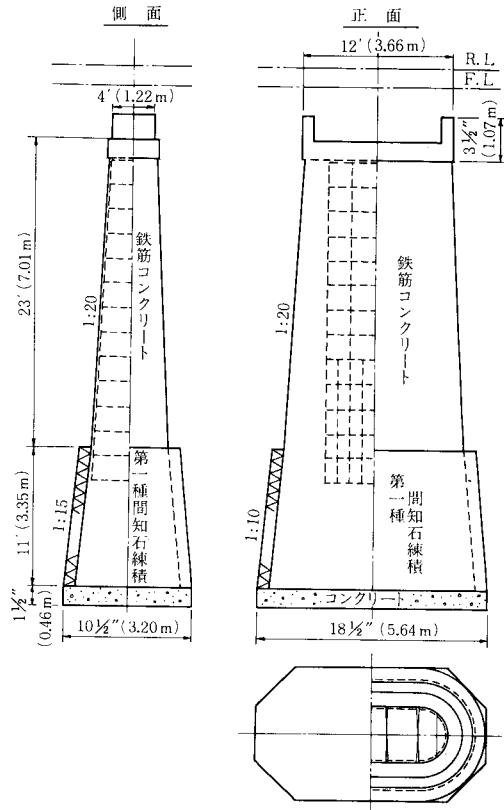


図-6 山生橋梁橋脚一般

下部構造は図-6に示すように軸体では主鉄筋は丸鋼径 $7/8$ in ($\phi 22$) を用い、かぶりは 3 in (76 mm) となっている。橋脚高さは泥岩の支持層の深さに応じて高さ 6 m から 11.3 m と変化させているが、波浪による影響を防止するために地表面以下の基礎部分は間知石練積で保護されている。

桁の設計は「鉄筋コンクリート橋梁設計心得」によつており主鉄筋は丸鋼 $1 \cdot 1/4$ in ($\phi 32$) を使用し、かぶりは床版上面、主桁下面で 2 in (5 cm) である。コンクリートは容積配合による 1:2:4 である。

桁断面は、図-7に示すように高さはスパン中央部で高く両端の支承部に向かって徐々に低く設計されており、排水が容易な構造となっているとともに、桁上面にはアスファルトフェルトとセメントモルタルで防水処理を行っている。また桁の両側部に設けられた砂利止めコンクリートは床版下面の下まで伸びており、十分な水切りの機能を有している。桁支承部は橋脚の両側から壁を立ち上げて沓部分を隠し、潮風を防ぐとともに、砂利止めコンクリートの水平線と相まって美観にも配慮されている。また沓はアスファルトフェルトを用いている。

③ 施工概要

記録が残っていないため不明であるが、最初の鉄筋コンクリート T 形桁であり、海辺に近いため施工は特に注意に行われたものと思われる。

b) 補修歴

この橋梁はすでに 60 年以上経過しているが、記録に残る補修としては、昭和 31 年および昭和 37 年に、砂利止めコンクリートの補修、昭和 38 年に桁コンクリートのひびわれおよび剥離部分の補修、昭和 39 年に橋脚補強、昭和 38 年から昭和 40 年にかけて橋脚根固め工を行っている。

このうち砂利止めコンクリートの補修は、木製の砂利止め板をコンクリート板に交換したものであり、桁コンクリートの補修は、塩分の浸透による鉄筋の腐食膨張のための桁コンクリートのひびわれおよび剥離部分をモルタルで補修したものである。

また橋脚補強は、5 P ~ 8 P 橋脚の根固め工を行った際に、7 P 橋脚を厚さ 30 cm の鉄筋コンクリートで巻いて補強したものである。

c) 考察

① 現状調査

この橋梁を外観調査すると、まず橋脚コンクリートには水平方向に若干のひびわれがみられるものの根固めの間知石練積の目地モルタルには全く目地切れは認められない。また昭和 38 年にひびわれ補修を行った桁は、全 16 連のうち両端付近は少なくて、中央付近の桁に多い。これはこの橋梁の両端付近は地勢的に直接海からの潮風が当たることが少ないことが主な理由と思われる。なお、桁の補修箇所は主として主桁下縁の隅部に多く、主桁より断面の薄い砂利止めコンクリートには補修の跡はあまりみられない。

主桁の補修箇所にはモルタル部にひびわれのみられるものが多く、モルタル部分のみにひびわれのみられるものと、モルタル部のひびわれと主桁コンクリートに発生したひびわれとが連続しているものとがみられる。

なお、桁床版面は、水の痕跡の観察から十分な排水勾配と防水工により排水作用が十分機能していたことがうかがわれる。

最近、この橋梁について環境条件が及ぼす影響の調査が行われた。調査した桁は足場の関係から第 1 連目と第 2 連目の 2 連、橋脚は 6 P, 8 P の 2 橋脚である。桁のモルタル補修面積は第 1 連目、第 2 連目ともそれぞれ約 10 % 程度である。桁には曲げ引張りによるとみられるひびわれが下縁に数本認められるとともにモルタル補修部にも認められた。これは幅 0.5 mm ~ 2.0 mm、長さ 0.5 m ~ 1.7 m のもので、ひびわれ発生部のコンクリートは桁本体から遊離しており、軽く叩くだけでも剥離する箇所があった。

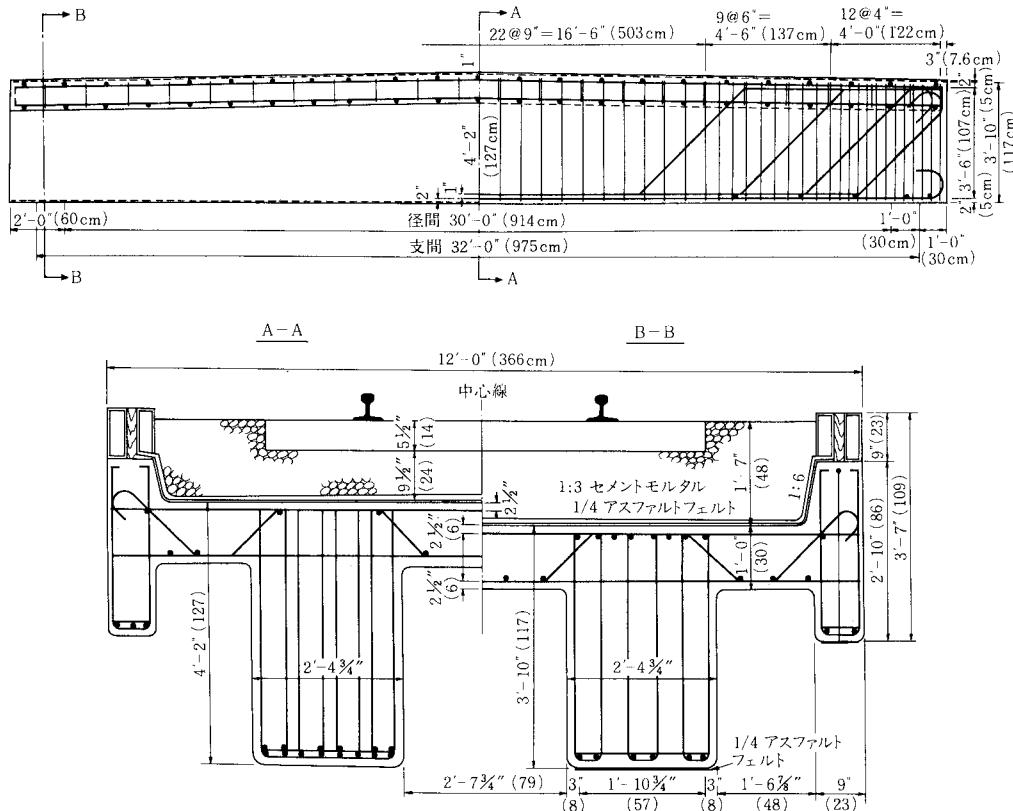


図-7 山生橋梁一般図

桁の主鉄筋のかぶりはほぼ5cmあり、配筋も正確に行われている。鉄筋の発錆状況を調べるために、①コンクリートが健全とみられる箇所、②ひびわれのみられる箇所、③コンクリートが剥離した箇所、④モルタル補修を行った箇所の各部分についてコンクリートをはつり発錆程度をA(発錆がない)、B(斑点状に赤錆がある)、C(全体に赤錆がある)、D(黒錆または浮き錆がある)、E(断面欠損をしている)の5段階に分類して調査した。

その結果、①の一見健全のようにみられる26か所の中でも、桁の底部でE3か所、D3か所、C1か所、側面でE1か所、D5か所、C4か所、B4か所、スラブ下面でC1か所、B4か所となっており、海塩粒子が直接吹き付ける底面コンクリートに鉄筋の腐食が多くみられ桁の部位が上位ほど発錆程度は低く、下位ほど高くなっていることが判明した。また、②のひびわれ箇所の調査では、ひびわれ幅が微少であったためか、①の健全箇所と同様な傾向を示し、下位の部位ほど腐食の進行度は著しい。

次に③のコンクリート剥離箇所は12か所を調査したが、発錆程度は当然のことながらすべてEで鉄筋の断面欠損が認められる。④のモルタル補修箇所は補修前の

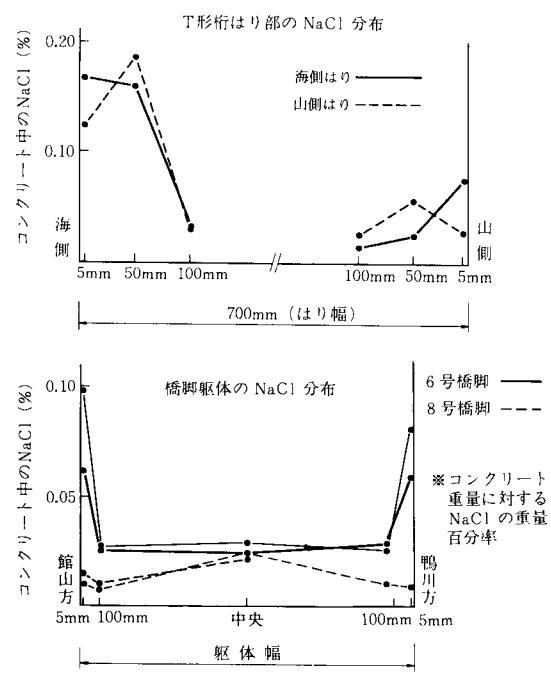


図-8 桁および橋脚のNaCl分布

状況が不明であり、一定の傾向を認めることはできないが全16か所のうちE6か所、D6か所、C4か所となっており腐食傾向が大きいことがわかった。

一方橋脚は舗装の浸出の形跡等は全くみられなかつた。これは鉄筋量が少なく、設計図上のかぶりも3 in (76 mm)あり、鉄筋が十分コンクリート内部に配置されているためと思われる。また一部はつりによってかぶりを調べると約10 cmあり設計値を満足しており鉄筋の発錆も特にみられなかつた。

コンクリートの強度はシュミットハンマーによれば橋脚、桁とも 500 kg/cm^2 程度を示し、フェノールフタレンイン溶液による中性化深さは10 mm程度であった。

コンクリート中の塩分の含有量を調べるため、T形桁のはり部と橋脚軸体を水平方向に貫通させたボーリングコアによって測定した結果を図-8に示す。表面に近い部分では塩分量は高く、内部ほど低くなる傾向を示している。8P橋脚は練積間知石で覆われた位置では、被覆されない6P橋脚に比べて塩分量は少ない。

鉄筋の強度試験は橋脚について行ったが、使用されている鉄筋の降伏点、引張強度、伸び率はそれぞれ $\phi 13$ で 31 kg/mm^2 、 45 kg/mm^2 、28%， $\phi 22$ で 27 kg/mm^2 、 39 kg/mm^2 、34%であった。

② 考 察

この橋梁は海辺にあって、60年以上にわたり潮風を受け非常に厳しい環境にある。橋脚は部分的に根固め補強工を行っているが、間知石練積に目地切れのみられないこと、軸体コンクリートの圧縮強度の高いことなどから、全く健全と考えられる。一方桁は下縁の鉄筋が部分的ではあるが腐食し断面欠損のみられる箇所があり、補修箇所も補修以後のひびわれの進行が認められる。

しかし大正時代鉄筋コンクリート桁による最初の鉄道



写真-4 神戸市街線高架橋

橋として海辺の厳しい環境下につくられたこの橋梁がほぼ健全で今日十分機能を果たしているのは、鉄筋のかぶりが十分確保されていること、良質のコンクリートを施工したこと、水切り工や防水工を行ってコンクリートへの塩分の浸透を防いでいること、適宜補修を行ってきたことなどによるものと考えられる。

(4) 神戸市街線高架橋

(第1期：昭和6年、第2期：昭和13年)

a) 建設概要

① 全般

神戸市街線高架橋は灘から鷹取に至る7駅を含む全長11.2 kmに及ぶ複々線の高架橋である(写真-4)。

工事は2期に分かれ、第1期工事はまず複線高架橋を大正15年に着手し昭和6年に完成した。第2期工事は第1期の高架橋に併設してもう1つの複線高架橋を昭和9年に着手し昭和13年に完成させ複々線とした。この高架橋は当時確立されたつたった鉄筋コンクリートラー

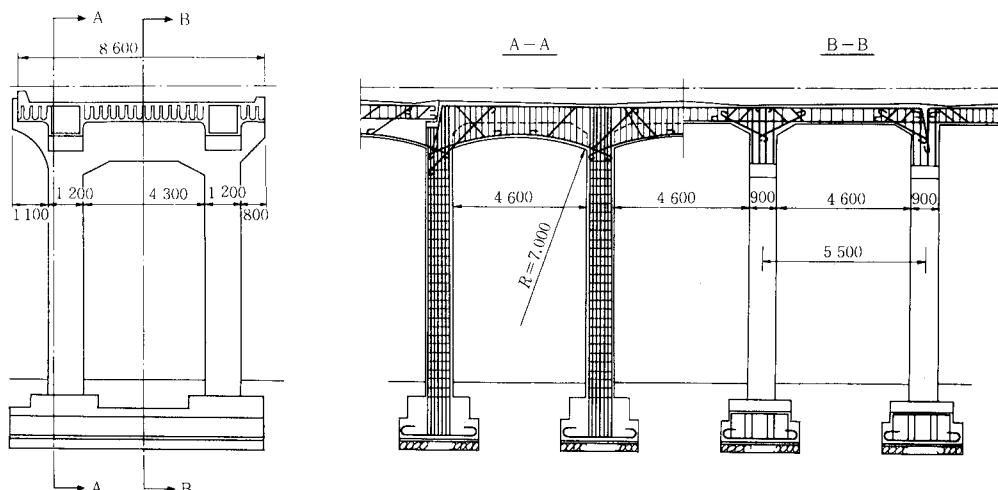


図-9 神戸市街線高架橋第1期工事一般図

メンに関する設計・施工の技術を駆使して造り上げた大正末期から昭和初期にかけての代表的な高架橋である。

② 設計概要

高架橋延長 11.2 km のうち両端の取付け部 3.7 km は鉄筋コンクリート擁壁による盛土高架であるが、中央部 7.5 km は鉄筋コンクリートビームスラブ式ラーメン高架橋である。

構造形式としては、第1期工事は線路方向は3径間連続ラーメン構造とし1径間 5.5 m を標準とした(図-9)。横方向は線路間隔に応じて、2線3柱式、2線2柱式、3線3柱式の3種類とし柱間隔は 2.8 m~5.0 m である。高架橋の高さは地形の起伏に応じて 3.5 m~8.9 m の範囲にある。

ビームスラブ式ラーメン構造は当時としては最も高級な構造物であり設計上の基本事項は「鉄筋コンクリート橋梁設計心得」(大正3年)によった。コンクリートは 1:2:4 の容積配合で、使用した鉄筋は、はり、柱の主鉄筋は丸鋼の $\phi 25$ であり、かぶりはスラブ 3 cm、はり 3 cm、柱 4 cm となっている。

第2期工事は第1期工事着手から10年近く経過しており、この間に設計上の相当な進歩があり、それらを取り入れた。高架橋の線路方向スパンは第1期工事のスパンに合わせて 5.5 m としたが、防水上の弱点である伸縮接合箇所をできるだけ少なくするため、高架橋の高さに応じ 3~6 径間の多径間連続ラーメンとともに、隣り合ったブロックの終端のラーメンの柱を伸縮接合線をはさんで同一の基礎の上において背割方式とした。

なお兵庫一刈藻川間の約 700 m は高架高さが 4 m~6 m であるが、高架下を倉庫、小工場などに利用するため桁下高の最も大きくとれるフラットスラブ式高架橋を採用した。

第2期工事におけるコンクリートの配合は種々検討して 1:2:3.5 を使用した。鉄筋は、はり、柱の主鉄筋は丸鋼 $\phi 25$ 、 $\phi 28$ を用い、かぶりは第1期と同様、スラブ 3 cm、はり 3 cm、柱 4 cm である。

高架橋には全面的に防水を行っている。また高架橋の基礎は大半が砂礫または玉石の上に基礎コンクリートを施工して直接基礎としている。

③ 施工概要

第1期工事においては当時 Abrams の水セメント比理論が紹介されて間もない頃で、コンクリートに対する関心は非常に高く容積配合であったため特に骨材の含水量および容積の膨張などに対してかなり厳しい現場管理が行われた。コンクリートの練りまぜには骨材にセメントペーストを所定のワーカビリチーを得るまで注ぎ込み攪拌するウォーセクリーターを使用した。材料の計量は容積によって行ったが、ミキサーのドラムの回転数や練りまぜ時間についても相当厳しい管理が行われた。第2期工事においても第1期工事の経験を生かし厳しい管理が行われた。

b) 補修歴

補修実績については、古い記録は残っていない。昭和43年度から昭和59年度までの実績ではほとんどが高架橋本体、高欄等のひびわれ注入、剥落防止、排水設備等

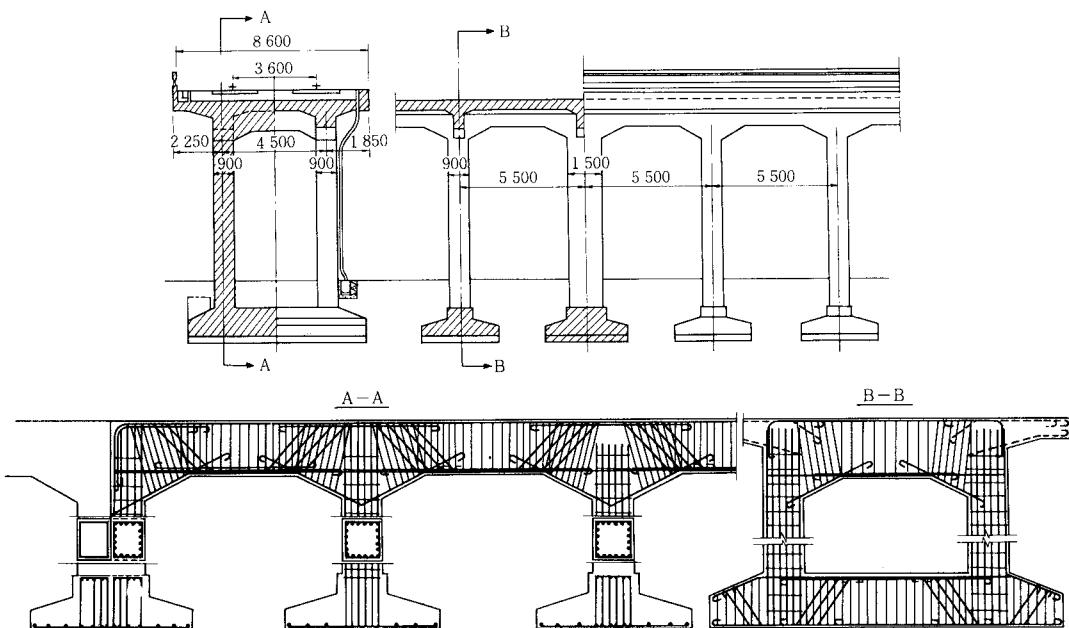


図-10 神戸市街線高架橋第2期工事一般図

の補修である。この高架橋は昭和17~20年に戦災を被つており、その被害は高架橋延長の相当な部分に及んでおり、列車振動などによるコンクリートの部分的な剥落防止や鉄筋の防錆対策にかなりの労力を費やしている。

補修方法としては以前はモルタル吹付け、モルタル塗布などで対処してきたが、最近では高分子系の補修材料が多く用いられている。

また高架下を倉庫、商店、工場に貸付けているため、それらの火災による被害も数件発生しその都度樹脂による補修、鋼板接着による補強等を行っている。

c) 考 察

① 現状調査

この高架橋は良好な基礎地盤によって支持されているため、全長にわたって基礎の不同沈下による構造物の変状は全く認められない。

戦災による影響は相当の延長にわたっており、外面においては火熱によるひびわれ、変色がみられ、高架橋内面は部分的に吹付けによる補修の跡があるほか煤が付着して黒色を帯びている。戦後40年経過した今日でも戦災に起因するコンクリート表面の劣化による剥落がまれに生じていてその都度補修を行っている。しかし過去に吹付け補修を行った箇所では剥落等の現象はみられない。フラットスラブ高架橋には戦災の影響がないためと思われるが全く変状はみられない。

高架橋高欄のコンクリートはかぶりが薄いことも原因して、コンクリートの剥落、鉄筋の露出がみられ、この部分と高架橋のスラブ下面外縁にはここ数年にわたってコンクリート表面塗装を行って耐久性の維持に努めている。

高架橋の排水は伸縮継目部の劣化による漏水があり樋を設置している。排水管は各所で腐食破損している。

コンクリートの中性化深さは火災の及ばない箇所でフェノールフタレンイン溶液で試験するとほとんどが1mm~2mm程度で、シュミットハンマーによるコンク

リート推定強度は400 kg/cm²程度を示している。鉄筋のかぶりは一般にスラブ、はりでは3cm以上、柱では4cm以上あり鉄筋の錆は特にみられない。露出した鉄筋は腐食を生じているが、はりなどでは大きな断面欠損は生じていない。

② 考 察

神戸市街線高架橋は50年前後を経過しているが、この間に戦災を受けるとともに昭和13年に神戸市に発生した豪雨による山津波、昭和21年に発生した南海大地震（震度4）など自然の大きな災害も受けしており、その都度対応する部分的な補修を行うことで機能を維持している。

この高架橋は市の中枢部を11.2kmという長い延長にわたって縦貫しているため、その間には一般高架橋のほかに駅部高架橋や架道橋等多数の構造物が介在しておりその実態も単純ではない。また高架下は全区間にわたり多目的に利用されており、構造物の点検が困難な箇所が多く、点検、補修上の大きな障害となっている。

しかし全体的にみて水害、戦災、地震等大きな災害にも耐え構造物自体、本質的な変状を生ぜず十分使命を果たしている。これはまず構造物が良好な地盤に支持されており基礎の不同沈下等によるひびわれがみられないこと、当時の技術の限界から制約を受けたとはいえ高架橋のスパンが小さくバランスのとれた無理のない設計となっていること、曲げひびわれの幅が小さく鉄筋腐食への影響が少ないと考えられること、かぶりが十分に確保されていること、コンクリートはセメントペーストを極力減らし十分締固めを行って密実なものとしていることなどによるものと思われる。

また高架橋床版に防水工を行うとともに全体の排水工を行っていることは床版のように薄い部材と構造物全体の耐久性によい結果をもたらしていると思われる。

さらに災害を受け損傷の著しい箇所や部分的に補修を要する箇所は適宜補修を行って劣化の進行を抑制してい

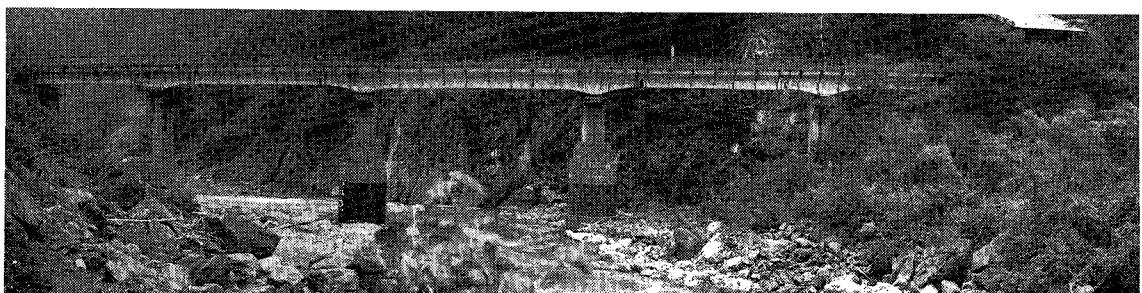


写真-5 第8 下姫川橋梁

ることも耐久性の維持にきわめて役立っていると思われる。

(5) 大糸線第8下姫川橋梁(昭和16年)

a) 建設概要

① 全般

第8下姫川橋梁は、大糸線北小谷—平岩間にあり、昭和14年に下部工が、昭和16年に上部工が竣工している。上部工は鉄筋コンクリート造、ゲルバー形式の単線箱形桁で、最大スパンは22m、ゲルバー桁のスパンは14mで、当時としては最大級のものである(写真-5)。

大糸線は、中央本線の松本と北陸本線の糸魚川を結ぶ短絡ルートとして建設されたが、戦争のため工事は中断を重ね、全線の開通は昭和32年までずれ込むこととなつた。したがって第8下姫川橋梁は、上部工の竣工から使用開始まで16年間放置されたことになる。

② 設計概要

構造は図-11に示すとおり、上部工は全長94m、最大スパン22mの5径間のゲルバー形式の単線鉄筋コンクリート箱形桁である。橋台は無筋コンクリート、橋脚は鉄筋コンクリート造で4基あり、うち1基は井筒基礎、残り3基は直接基礎である。

上部工に用いられた主鉄筋は $\phi 32\text{ mm}$ でピッチは8cm、スターラップには $\phi 12\text{ mm}$ が使用されている。コンクリートは容積配合1:3:6のものを用いている。

桁のかぶりは、部位によって異なっており、砂利止め

部分では2.5cm、片持スラブ下面では4cm、主桁フランジ部分の外縁では、3.2cm、6.2cm、8.2cmといろいろであるが、これは、桁のスパンが違うにもかかわらず、外面をそろえたためと思われる。なお、橋面には金網入りのモルタルによる厚さ5cmの防水工が施工されている。

b) 補修歴

山間地の急流河川に位置していることから河床の低下と洗掘が甚だしく、昭和29年には、2P、3Pに対して第1回目の防護工を施工している。その後昭和58年まで5回にわたって橋脚の補修、補強を行っており、この原因は、上流からの砂利、大小の岩石の流出による摩耗にある。護岸工の摩耗は15年間で20~30cmに及び、3~4年ごとに護岸工の補修を行っている現状である。

上部工の補修は昭和44年に、桁の側面と底面におけるひびわれにエポキシ樹脂注入を行い、また凍害防止を目的として表面にエポキシ樹脂表面保護用プライマーを塗布している。

c) 考察

① 現状調査

現状の目視調査によれば、桁支点部付近の側面、下面には、応力によると思われるひびわれは認められず、桁の断面方向のコーナーの部分に、桁に沿ったひびわれ、剥落部分が局部的に認められる。また、片持スラブ下面の排水孔付近の鉄筋が局部的ではあるが露出している。

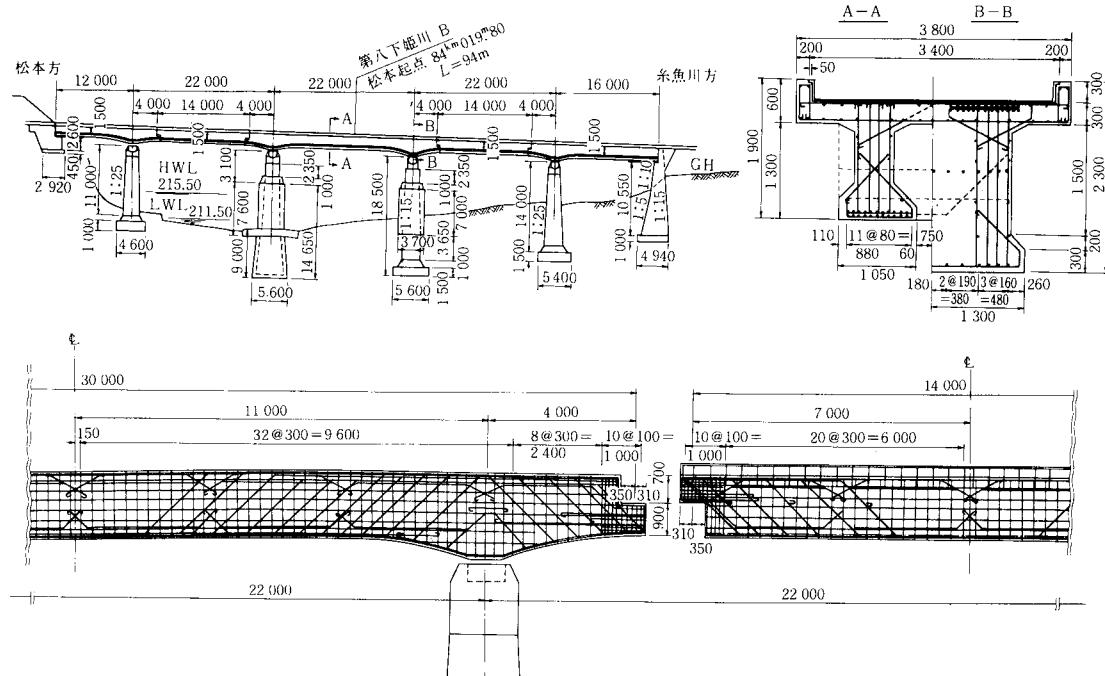


図-11 第8下姫川橋梁一般図および桁配筋図

これらはいずれも凍害が原因と考えられる。露出している鉄筋（ $\phi 12\text{ mm}$ ）は赤黒く発錆してはいるものの、頗る断面の減少は認められず、鋼材の腐食に対する環境という点からみれば、現地は比較的良好と考えてよいようである。

桁の側面と底面にエポキシ樹脂のプライマーが塗布されているため、コンクリートの表面を直接目視することはできないが、前述の局部的な変状箇所を除けば、コンクリートは健全で、シュミットハンマーによる強度測定の結果も桁側面で約 490 kg/cm^2 、桁底面で約 440 kg/cm^2 であり十分な強度を示している。中性化深さの測定結果も桁側面で $2\sim9\text{ mm}$ であり、さして悪くはない。

かぶり厚さは、片持スラブ下面の局部的な鉄筋の露出箇所を利用して測定したが、 $3.5\sim4.0\text{ cm}$ あり、おおむね設計図と一致する。

沓は、鋳鉄製のローラーシューが 1 橋脚につき 2 基設置されており、いずれも健全で正常に機能しているようである。ゲルバー受部のせん断ひびわれ等は特に認められない。

② 考 察

昭和 59 年に行った外観検査の結果では、桁の中央部の側面と下面に 0.2 mm 程度の曲げひびわれが多数あると報告されているが、この状態はそれ以前に行なった調査結果と比較して変化が認められないことから、ひびわれには進行性がないと考えられる。

コンクリートは粗骨材が多く、丁寧に締め固められていることがうかがわれる、凍害によると思われる局部的な変形を除けば、ハンマーによる打診音も良好であり、全体的にみれば、強度的にも、耐久性の点からも健全といえる。

本橋梁は、鉄筋コンクリート桁としてゲルバー形式を用い当時としては最大級のスパンの橋梁であり、冬期の凍結融解や山間の急峻河川の影響を考慮しながらつくられたもので、設計・施工は入念に行なわれたことがうかがわれる。

一方外的環境は予想以上に厳しく、凍害、洗掘、軸体の摩耗等の被害がかなりあり、耐久性の上で他の多くの構造物と比べて特別優れているとは必ずしもいい切れない。

しかし、定期的に行なわれる検査と、被害に対する適宜の補修、補強および予防措置により 40 年以上経過した今日でも全般的に十分な耐久性と機能を維持しており、建設時の入念な設計、施工と併せてその後の維持管理に対する配慮がいかに重要であるかを思わせる。

4. 耐久性に関する考察

(1) コンクリート劣化の現状

最近 10 年間におけるコンクリート構造物の補修実績は 2. (3) で述べたように、

明治時代	5 %
大正時代	3 %
昭和 1~20 年	2 %
昭和 21~40 年	1 %
昭和 41~58 年	1 %

と全体的にみれば古い構造物ほど補修が行なわれた率が高く、おおむね妥当な結果となっている。しかし昭和 21~40 年の構造物に対する補修率と、昭和 41 年以降のものに対する補修率がほとんど同じであるということは、早期劣化の問題が内在することを暗示するものである。また 41 年以降は高度成長期を通して非常に多くの構造物がつくられており、補修率の数字は小さくても補修の絶対数は多いことに注意を要する。なおこれらの数字に関しては、全国的な一般調査では構造物の数え方、補修件数の数え方も十分な精度と統一性を確保することは困難であり 1 つの目安を与える数字を考えるべきであろう。

変状の種類としては、コンクリートのひびわれ、剥落が多く各年代とも変状のうち常に 30~40 % を占めている。しかしこの原因については明確になっていない。

次に目につくのが桁式構造における支承部の損傷である。昭和 20 年までの構造物に対しては 10~15 %、それ以降の年代のものに対しては 20 % となっている。これは沓本体が腐食したり、橋脚の沈下、変位等で沓の遊間がなくなったり、あるいは施工時の据付け方が適切でなかったり等のため特に可動沓の移動が困難になり、沓本体あるいは桁座、桁端が破損するものである。桁式構造で最も多く見られる変状がこの支承部である。

経年劣化によるとしたものの中には凍害等も含まれるとみられるが、調査した人の判断により内容の違いがあると思われる。たとえばひびわれがあった場合単にひびわれとしてあげるか経年劣化としてあげるか等調査方法にも不明確な点がある。新しい構造物ではこの比率は減少しているのは当然のことであるが、前述のように昭和 41 年以降の構造物においても約 11 % に及ぶのは早期劣化を示唆するものと考えられる。

また洗掘による変状は対応技術の進歩に伴い新しい構造物ほどその比率は減少してきている。沈下、たわみによる変状は新しい構造物の方が比率が大きい。これは地盤条件の悪い箇所にも複雑な構造物をつくることが多くなってきたことを反映しているものと思われる。

(2) 代表例の構造物にみられる特徴

先に取り上げた 5 つの構造物の代表例を通して、耐久性が優れている要因となり得る共通要素を材料、設計、施工、その他の各面から検討してみると大略次のように

思われる。

a) 材 料 面

- ① 骨材は良質の川砂利、川砂が用いられている。
- ② コンクリートはモルタル分が少なく粗骨材が多い。かつ密実である。
- ③ コンクリートの配合は容積配合で1:2:4、単位セメント量は300 kg/m³以上としたものが多く、圧縮強度は経年により増進し現在約400 kg/cm²以上に及んでいると思われる。
- ④ コンクリートの中性化深さはほぼ1 cm以下であり、構造物によっては2~3 mmにとどまっているものもある。
- ⑤ 鉄筋はφ12~φ32の丸鋼（引張強度40 kg/mm²程度）が用いられている。

b) 設 計 面

- ① 許容応力度はコンクリート $\sigma_{ca} \approx 40 \sim 70 \text{ kg/cm}^2$ 、鉄筋 $\sigma_{sa} \approx 1000 \sim 1200 \text{ kg/cm}^2$ で現在の値に比べてかなり小さいため、スパンも小さく構造的にも無理のない設計になっておりひびわれも小さい。
- ② 初期の構造物はアーチ橋、アーチ式高架橋等、コンクリートの特徴を生かし、引張応力のあまり生じない構造形式を多く選定している。
- ③ 設計上のかぶりは一般にスラブ3~4 cm、はり、柱3~5 cmをとっており現在の設計と大差ない。しかし海岸に近接した山生橋梁では桁5 cm、橋脚8 cmのかぶりをとっている。
- ④ 鉄筋の径とピッチはバランスのとれた配筋となっている。
- ⑤ 床版上面に防水工を施工しているものが多く、コンクリートの劣化防止に役立っている。
- ⑥ 水切り、排水には十分注意している。

c) 施 工 面

- ① コンクリートの練りませ、打設、養生等は当時の最新技術をもとに十分検討したうえで入念な施工管理を行っていることが記録に残されている。特に硬練りのコンクリートを十分に締め固めて密実なコンクリートに仕上げている。
- ② 設計図に示されたかぶりが確実に保持されている。特にスラブ下面等の確保が難しいところでも確実に施工されている。
- ③ 配筋も正確で、鉄筋交差箇所の緊結等細かい点も入念に行われている。
- ④ 全体的に一橋一橋いろいろな点に十分な注意を払い、心をこめてつくり上げていったことがうかがわれる。

d) そ の 他

- ① 基礎がしっかりとしており不同沈下等で軸体や上部

工に変状が生ずることがない。

- ② 海洋環境、凍害環境あるいは基礎の洗掘や軸体の損傷の危険にさらされる等厳しい環境におかれている構造物は計画時に環境に対する配慮が十分なされている。
- ③ 構造物は長い使用期間の間には予期せざる災害等を受けることもあり、ある程度の被害はやむを得ない。しかし被害により変状が生じた場合にただちに適切な補修、補強がなされている。
- ④ コンクリート構造物は設計、施工上いかに注意をしても完全なものをつくることは不可能である。どうしても部分的に若干の欠陥は残り、長い年月の間にはそういうところからひびわれ等の多少の変状が進むし、構造物全体の劣化も少しずつ進行する。優れた耐久性が維持されている背景には、定期的に点検を行い早めに適切な処置をする検査、保守システムが重要な役割を果たしている。

5. あとがき

つくられてから40年以上を経過した国鉄のコンクリート構造物を対象に、耐久性の面から若干の調査、検討を行った結果を述べた。

これらの多くの構造物は部分的には多少の変状もあるが、それらはごく一部で全般的にはいずれも耐久性に関して特に問題はない。

耐久性に優れた構造物の代表例等を通して見直したときには、特に新しい事実が再発見されたわけではなく、計画、設計、施工、保守の各段階で通常行われている基本にいかに忠実に取り組んでいるかということと、これらの各段階を流れる基本思想がばらばらではなく一貫性をもって生きているということである。

古い工事記録をひもとき、その構造物を目のあたりにするとき、先輩達が新しい構造物をつくるときいかに検討を重ね、全力を投入し心をこめてつくっていったかがうかがわれる、優れた耐久性の原点が感じられる思いである。

時代の進展とともに材料、設計、施工の各面で技術的な進歩があるとともにいろいろな条件の変化も生じてくる。先人がつくったと同様の耐久性に優れた構造物を後世に残していくためには、常にコンクリートの原点に立って技術の進歩を有効に活用しながら条件の変化に的確に対応し、心のこもったものをつくっていくことが重要であると考える。

参 考 文 献

- 1) 日本国有鉄道：鉄道技術発達史、第2編施設、1959年。
- 2) 土木学会：日本土木史、昭和40年。
- 3) 田村浩一・近藤時夫：コンクリートの歴史、山海堂、昭

- 和59年。
- 4) 土木学会：鉄筋コンクリート標準示方書解説、昭和6年、昭和11年、昭和15年。
 - 5) 日本国有鉄道施設局土木課：土木建造物取替の考え方、昭和49年。
 - 6) 鉄道省東京改良事務所：市街高架線東京・万世橋間建設紀要、大正9年。
 - 7) 日本鉄道建設業協会：日本鉄道請負業史、昭和53年。
 - 8) 守田久盛・高島 通：統鉄道線路変せん史探訪、集文社、昭和54年。

- 9) 高橋浩二：鉄道高架橋の具備すべき基本的条件と構造形式の変遷に関する研究、鉄道技術研究所報告第1082号、昭和53年。
- 10) 鉄道省神戸事務所：神戸市街線高架改築工事概要、昭和6年。
- 11) 神戸市街線フロートスラブ式高架橋の施工に就て、第9回改良講演記録、昭和13年。
- 12) 大阪工事局40年史、昭和42年。

(1985.7.12・受付)