

## 低温度におけるコンクリートの強度

会長 工学博士 吉田 徳次郎\*

### 概 要

本文は、15 cm×30 cmの円柱供試体および 15 cm×15 cm×50 cm のはり供試体を用いて、-25°~-40°C の低温度におけるコンクリートの圧縮強度および曲げ強度を求め、これを常温度におけるコンクリートの圧縮強度および曲げ強度と比較し、低温度におけるコンクリートの強度の増大は、コンクリート中に含まれる水分によつて異なり、コンクリートが乾燥しているときの強度の増大は 1.05~1.3 倍であるが、水で飽和されているときには、5~6 倍以上にも達すること、曲げ強度の増大の割合は、少くとも、圧縮強度の増大の割合よりも小さくないこと、即ち、低温度においてコンクリートは圧縮強度が増大するのみならず、もろくならないこと、等を結びとした、実験報告である。

### 第 1 章

#### 緒 言

昭和 16~18 年に、文部省の科学研究費をうけて、低温度におけるコンクリートの強度を試験した。低温度でコンクリートの圧縮強度が大きくなることは、今日までに、知られているが、その程度がどの位であるか、また、圧縮強度は増大しても、もろくなりはいないか、等のことは、わかつていない。よつて、北滴のような寒いところに造つたコンクリートおよび鉄筋コンクリート構造物が、冬になつたときの強さを知る目的で、この実験をしたのである。本実験は、戦時中にこれを行つたために、資材、設備、労力、等が思うに任せず、実験上、遺憾の点が甚だ多かつたのであるが、実験の結果は、大体において、正しいものと著者は信じている。本実験にあたり、セメントについて特に便宜をはかつて下さつた小野田セメント製造株式会社の前社長狩野宗三氏、圧縮強度試験機を貸して下さつた浅野セメント株式会社の前研究部長中川博氏、研究費を寄附して下さつた日本建機株式会社社長眞鍮武雄氏、この実験を手傳つて下さつた林泰造君、にたいして、厚くお礼を申上げる。

\* 前東京大学教授

### 第 2 章

#### 供試体の、製造、養生および試験方法

##### (1) コンクリート材料

###### (a) セメント

セメントは、小野田セメント製造株式会社本社工場から直接に供給をうけた、ポルトランドセメントである。

(b) 多摩川砂を用いて実験をはじめたのであるが、のちになつて、この砂の入手ができなかつたので、中川砂を用いた。砂は、板フルイ5を全部通つたもので、それらの主な性質は、表-1 のようである。

表-1 砂の性質

砂の種類	比重	単位容積重量	粗粒率	吸水率
多摩川砂	2.64	1760 (kg/m <sup>3</sup> )	3.17	1.6%
中川砂	2.57	1580 "	2.20	2.2%

###### (c) 砂 利

砂利は、多摩川砂利で、板フルイ5に全部とどまり、最大寸法 40 mm、比重 2.62、単位容積重量 1770 kg/m<sup>3</sup>、吸水率 1.65%、である。

##### (2) コンクリート

(a) 実験に用いたコンクリートの配合の種類は、材令 28 日における設計圧縮強度が  $100 \text{ kg/cm}^2 \left( \frac{w}{c} = 73\% \right)$ 、 $175 \text{ kg/cm}^2 \left( \frac{w}{c} = 62\% \right)$ 、 $250 \text{ kg/cm}^2 \left( \frac{w}{c} = 53\% \right)$  の 3 種、スランブが 5 cm、10 cm、15 cm の 3 種で、計 9 種である。

これら 9 種のコンクリートの水セメント重量比は、予め試験をしてきめた水セメント圧縮強度関係からこれを定め、セメント骨材比および粗細骨材比は、所要のスランブをもつコンクリートを造るのにいるセメントペーストの量が最小になるように、これを定めた。これらコンクリートの配合は表-2 に示すようである。

表-2 コンクリートの配合

スランプ (cm)	設計圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) kg/cm <sup>2</sup>	水セメント重量比 ( $\frac{w}{c}$ )	多摩川砂を用いた場合		中川砂を用いた場合	
			1m <sup>3</sup> に用いた水量 (kg)	セメント, 砂, 砂利重量比	1m <sup>3</sup> に用いた水量 (kg)	セメント, 砂, 砂利重量比
5	100	73	152.3	1:3.69:6.28	182.5	1:2.83:4.83
	175	62		1:3.08:5.24		1:2.42:4.12
	250	53		1:2.59:4.40		1:2.00:3.42
10	100	73	160.1	1:3.45:5.87	188.1	1:2.68:4.57
	175	62		1:2.88:4.90		1:2.34:4.00
	250	53		1:2.42:4.11		1:2.03:3.47
15	100	73	199.3	1:3.21:5.45	193.1	1:2.63:4.49
	175	62		1:2.68:4.56		1:2.17:3.71
	250	53		1:2.25:3.83		1:1.9:3.29

これら9種のコンクリートの、材令28日の圧縮強度は、試験をしたとき、すべて、ほとんど設計圧縮強度に等しかった。

(b) 多摩川砂を用いたコンクリートと中川砂を用いたコンクリートとは、砂の粒度その他の差により、コンクリート1m<sup>3</sup>に用いる水量についてかなりの差があるから、低温度におけるコンクリートの強度を論ずるときに、これらを同一のものとして取扱うことは、理論上、適当でないのであるが、実験の結果からみると、これらコンクリートの差はあまり大きくなかった。本報告では、便宜上、これらを同一の性質のコンクリートとして、取扱うことにした。

(c) 練り混ぜ

円柱供試体を造るためのコンクリートは、供試体2個分を手練りで練り混ぜた。

ハリ供試体を造るためのコンクリートは、供試体1個分を手練りで練り混ぜた。

(3) 供試体

(a) 圧縮強度試験用の供試体は15cm×30cmの円柱供試体であり、曲げ強度試験用の供試体は、15cm×15cm×50cmのハリ供試体である。

(b) 供試体の製造は標準方法によつた。

(c) 供試体は、各種の配合、養生方法および材令につき、6個を造り、そのうち3個を低温度で、残りの3個を常温度で、試験し、各3個の平均値をもつて、これらコンクリートの強度とした。

(d) 本実験のために造つた供試体の数は、円柱供試体およびハリ供試体ともに、702個で、総計1404個である。

(4) 養生

(a) 本報告における供試体は、コンクリートを型に詰めてから2日後に、型を取りはずし、21°Cの水槽中

で、7日および28日間標準養生をしたのちに、所定の試験期日になるまで、実験室内において乾燥した。

(b) 供試体の養生中における実験室の温度および湿度は、季節によつて、大分変化しているのと同じ、設計圧縮強度、スランプおよび材令のコンクリートでも、それらの圧縮強度および曲げ強度は、試験の時期によつて、多少異つていたが、低温度で試験する供試体と常温度で試験する供試体とは、常に同一状態で養生したのであるから、低温度における強度と常温度における強度との比について論ずるときに、実験の時期によるコンクリートの強度の差については、考えないことにした。

(5) 冷蔵室

供試体を低温度にするには、第一工学部総合試験所の冷蔵室を用いた。

冷蔵室は、最低-40°Cにすることができるものであるが、いろいろの事情で、-40°Cの温度を一定にたもつことができなかった。しかし、-25°C以上にならないようにすることはできた。

低温度にした供試体の温度は、平均-32°C位と考えられる。

(6) 試験

(a) 7日または28日間標準養生をしたのち、実験室で乾燥させた供試体は、材令28日、91日、6月、および12月になつたときに、6個のうち3個を-25°C~-40°Cの冷蔵室内に2日間貯蔵したのち、実験室に運搬し、直ちに、円柱供試体につき圧縮強度を、ハリ供試体につき曲げ強度およびその切片の圧縮強度を試験し、これと同時に、残りの3個の供試体につき前記と同様な試験をし、供試体3個の強度の平均値で、そのコンクリートの強度を定めた。ただし、ハリ供試体の切片について圧縮強度をした場合は供試体6個の

平均値をとつた。

(b) 総合試験所の冷蔵室から供試体を選搬するには、木箱を用いた、この箱は、内外 2 重の箱で造り、これらの間に緩層を厚サ約 5cm 詰めたものである。箱と蓋との間には、厚いフェルトをはつて、十分に気密にした。

この箱は、供試体と同時に冷蔵室内に入れ、供試体と同様 2 日間冷蔵室内におき、冷蔵室内で供試体をこの箱の中に入れ、蓋をしたのち、箱をリヤカーで実験室に運搬した。

(c) 供試体を上記の箱から取り出し、試験機にすえ、試験を終るまでの時間は数分間で、この間における供試体の温度の上昇は大きくないと認められた。

(d) 圧縮強度試験には 100 トンの万能試験機または 500 トンの油圧式圧縮強度試験機を用い、曲げ強度試験には、アムスラーの 30 トン万能試験機を用いた。

### 第 3 章

#### 圓柱供試体を用いた圧縮強度試験の結果およびその考察

(1) 圓柱供試体を用いて圧縮強度試験をした結果は、各種の、配合、養生および材令のコンクリートのすべてについて、低温度におけるコンクリートの圧縮強度は、常温度におけるよりも大きく、また、実験室内で乾燥させた期間の短いほど、即ち、供試体に含まれる水分の多いほど、強度の増大が大きいことを示した。

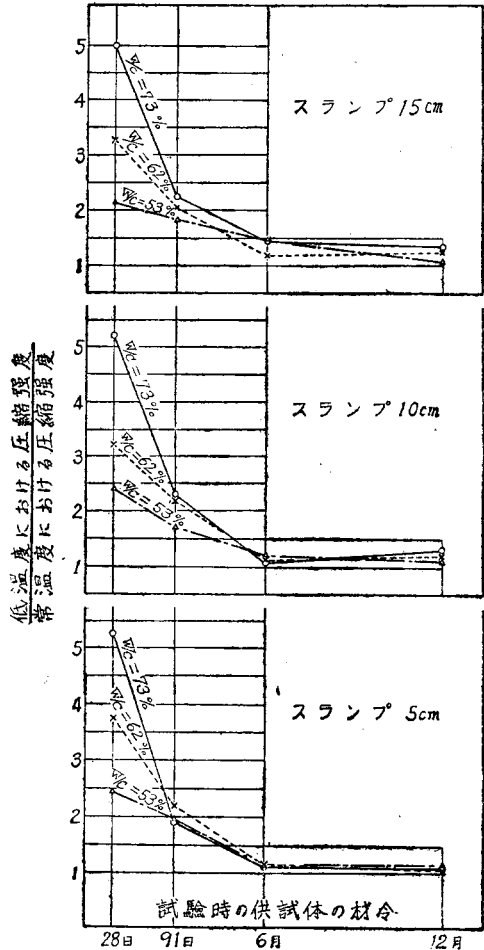
図-1 は、材令 28 日まで標準養生を行い、材令 28 日以後実験室においた、スランパが 5cm, 10cm および 15cm, 設計圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) が  $100 \text{ kg/cm}^2$  ( $\frac{w}{c} = 73\%$ ),  $175 \text{ kg/cm}^2$  ( $\frac{w}{c} = 62\%$ ),  $250 \text{ kg/cm}^2$  ( $\frac{w}{c} = 53\%$ ) のコンクリートで造つた圓柱供試体の、低温度における圧縮強度と常温度における圧縮強度との比と、試験時の供試体の材令との間の関係を示す。

図-1 でみると、材令 28 日（空気中における養生期間 0 日）では、低温度における圧縮強度と常温度における圧縮強度との比が大きく、5 以上になつているが、空気中で乾燥した期間が大きくなるに従つて、この比の値が小さくなり、1 にちかづくことがわかる。以下、この比の値を倍率ということにする。

この倍率は、材令 28 日では、水セメント重量比の大きいコンクリートほど大きいことが認められる。材令 91 日でも多少この傾向が認められるが、材令 6 月以上では、倍率は水セメント重量比に無関係で、1 にちかづくことを示している。

図-1

材令 28 日まで標準養生を行い、材令 28 日以後空気中においたコンクリート供試体の、低温度における圧縮強度と常温度における圧縮強度との比と、試験時の供試体の材令との関係



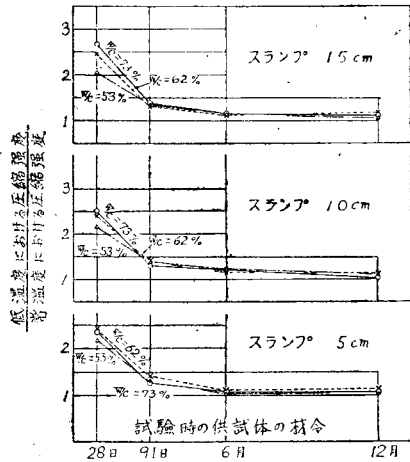
上記の事実は、コンクリートが低温度で圧縮強度の大きくなる主な原因は、コンクリート中に含まれる水分の凍結であることを示すものと思われる。

図-2 は、材令 7 日まで標準養生を行い、材令 7 日以後空気中で養生した各種コンクリートの、低温度および常温度における圧縮強度の比（倍率）と、試験時の供試体の材令との関係を示したものである。

材令 28 日の供試体は、空気中で乾燥した期間が 21 日であるので、大分乾燥しており、倍率は、28 日標準養生をした 図-1 の場合よりも小さく、大約 2.5 である。空気中養生の期間が大きくなるに従つて倍率が小さくなり、1 にちかづいている。また、コンクリートの水セメント重量比の差による倍率の差も、空気

図-2

材令 7 日まで標準養生を行い、材令 7 日以後空気中においたコンクリート供試体の、低温度における圧縮強度と常温度における圧縮強度との比と、試験時の供試体の材令との関係。



中養生期間がながくなると認められない。図-2 は図-1 と同様に、倍率の増大は、コンクリートに含まれる水分が大きいほど大きいことを明らかに示している。

第 4 章

ハリ供試体を用いた曲げ強度および圧縮強度試験の結果およびその考察

(1) 15cm×15cm×50cm のハリ供試体のスパンを 45cm とし、スパンの 3 等分点の 2 点に等荷重を加えて求めたコンクリートの曲げ強度も、曲げ強度試験後のハリ供試体の 2 つの切片について行つた圧縮強度試験の結果も、各種の、配合、養生および材令のコンクリートのすべてについて、コンクリートは低温度において常温度におけるよりも強度が大きくなること、低温度における強度と常温度における強度との比はコンクリート中に含まれる水分が多いほど大きいこと、低温度におけるコンクリートの強度の増大の主な原因はコンクリート中に含まれる水分の凍結によるものであること、等を示した。これらは、第 3 章の円柱供試体を用いて試験した圧縮強度の場合と全く同じである。

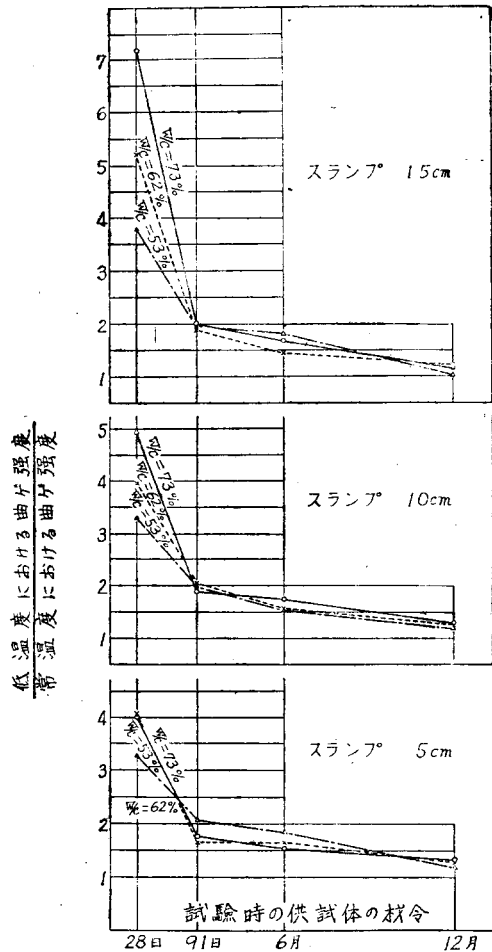
(2) 図-3 は、材令 28 日まで標準養生を行い、材令 28 日以後実験室内で乾燥させた各種の配合のコンクリートの、低温度および常温度における曲げ強度の比(倍率)と、試験時の供試体の材令との関係を示したものである。

図-3 からわかることは、第 3 章の図-1 について述べたと全く同じである。材令 28 日、スランプ 15

cm、水セメント重量比 73% のコンクリートで倍率が 7 以上になっているが、これは常温度におけるコンクリート供試体の製造に欠点があつたためその強度が小さく、倍率が大きくてたので、この値は信頼できないと考えられる。

図-3

材令 28 日まで標準養生を行い、材令 28 日以後空気中においたコンクリート供試体の、低温度における曲げ強度と常温度における曲げ強度との比と、試験時の供試体の材令との関係

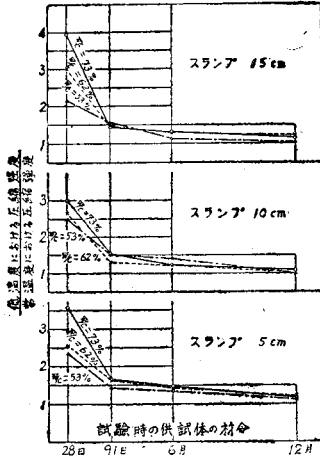


(3) 図-4 は、図-3 の曲げ強度試験をしたのちに、2 つの切片について圧縮強度試験を行い、倍率と試験時の供試体の材令との関係を示したものである。

図-4 から認められることは、円柱供試体を用いた図-1 の場合とほとんど同じであるが、材令 28 日における倍率が幾分小さいのは、供試体の形状寸法その他の影響があらわれているものと考えられる。また、図-1 の場合には、材令 28 日における倍率がコンク

図-4

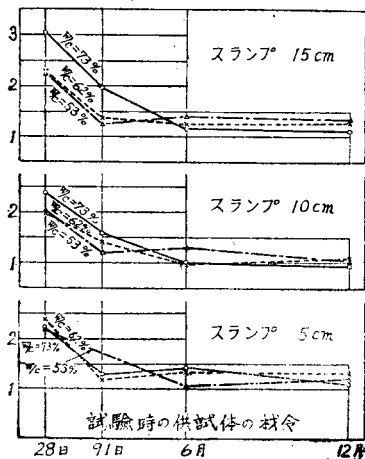
材令 28 日まで標準養生を行い、材令 28 日以後空気中においたコンクリート供試体の、低温度における圧縮強度と常温度における圧縮強度との比と、試験時の供試体の材令との関係（ハリ供試体）



リートのスランブにほとんど無関係であるのに、図-4のハリ供試体の切片を用いた場合には、スランブが大きいほど倍率が大きくなっている。これは、前者のコンクリートは多摩川砂を用いて造つてあり、後者のコンクリートは中川砂を用いて造つてあるので、コンクリート1m<sup>3</sup>についての使用水量に約15%の差があることによるものと考えられる。それで、図-4と図-1との倍率の差は、同じ強度およびスランブをもつコンクリートについて、用いた砂、供試体の形状寸

図-5

材令 7 日まで標準養生を行い、材令 7 日以後空気中においたコンクリート供試体の、低温度における曲げ強度と常温度における曲げ強度との比と、試験時の供試体の材令との関係。

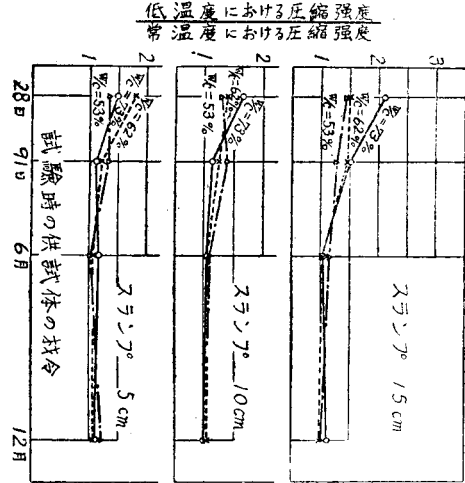


法等の差によるコンクリートの性質の差をあらわすものであるといふことができる。なお、材令 91 日以上になると、コンクリートが相当に乾燥しているので、スランブの差（即ち、セメントペーストの使用量の差、従つて使用水量の差）による倍率の差があらわれていないのであると思われる。

(4) 図-3 と図-4 とによつて、曲げ強度の場合の倍率と圧縮強度の場合の倍率とを比較すると、曲げ強度の場合の倍率が、圧縮強度の場合の倍率よりも 10 ~ 20% 大きいことがわかる。曲げ強度試験を終つた

図-6

材令 7 日まで標準養生を行い、材令 7 日以後空気中においたコンクリート供試体の、低温度における圧縮強度と常温度における圧縮強度との比と試験時の供試体の材令との関係（ハリ供試体）



供試体の 2 つの切片の圧縮強度試験を終るまでの間に、供試体の温度は曲げ強度試験をした時よりも幾分高くなつていたわけであるから、そのために低温度コンクリートの圧縮強度が幾分小さくなつていたことは考えられるが、上記の結果からみて、少くとも、コンクリートは低温度で圧縮強度と同様に曲げ強度が増大するものであること、即ち、コンクリートは低温度においてもろくならないものであること、がわかる。

(5) 図-5 は、図-3 の場合に標準養生期間が 28 日であつた代りに、標準養生期間を 7 日とした場合である。

図-5 と図-3 との間の関係は、円柱供試体を用いた圧縮強度試験の場合の図-1 および図-2 との関係とはほぼ同じで、曲げ強度の場合にも圧縮強度について述べたと同様な関係が認められる。

(6) 図-6 は、図-5 の曲げ強度試験を終つた 2 つの切片について行つた圧縮強度試験による倍率と試験

時の供試体の材令との関係を示したもので、この図からわかることは、前の数図について述べたとほとんど同じである。

## 第 5 章

### 結 び

(1) 本実験では、冷蔵室の温度を、電力その他の関係から一定に保つことができず、冷蔵室の温度が $-25^{\circ}\text{C}$ から $-40^{\circ}\text{C}$ の間に変化した。それで、試験時における供試体の温度を一定にすることができなかつた。冷蔵室から取り出したコンクリート供試体の試験を終るまでの所置は、できるだけ同じにしたのであるが、夏と冬とでは実験室の温度に大分の差があつたので、このために、試験時の供試体の温度についても相当の差があつたことが考えられるのである。しかし、これら温度の差によるコンクリートの強度の差を、実験結果から明らかに認めることはできなかつた。それで、簡単のために、上記の様な温度の状態を低温度ということにすれば、本実験の結果から、次のことが認められる。

(a) コンクリートは低温度にすると、圧縮強度も曲げ強度も増大する。

(b) 低温度で曲げ強度が増大する割合は、少くとも、圧縮強度が増大する割合よりも小さくない。よつて、コンクリートは低温度でもろくならないことがわかる。

(c) 低温度でコンクリートの圧縮強度および曲げ強度が増大する割合は、コンクリート中に含まれる水分が多いほど大きい。水で飽和されているときに低温度における強度は常温度における強度の5倍以上にも達し、コンクリートが乾燥するに従つて低温度による強度の増大の割合が小さくなつて、常温時の強度に近くなり、ほとんど完全な気乾状態では常温時のコンクリートの強度の大約1.05~1.3倍である。

(d) 低温度でコンクリートの強度が大きくなる主な原因は、コンクリート中に含まれる水分の凍結によるもので、低温度においてコンクリートに含まれる水分を多くするすべての事項は、低温度におけるコンクリートの強度の増大の割合を大きくする。

(2) 低温度におけるコンクリートの強度の増大の利用、低温度においてコンクリートを破壊する必要のある場合の所置、等については、いろいろのことが考えられるが、之は読者の考えに任せたいと思う。

(3) 本論文の結論が、大体において正しいことは著者の信ずるところであるが、実験上まづいところの多いことも著者のよく知つているところである。それで、この研究をやり直す機会をえたいと望んでいたのであるが、今のところ、その望みが達せられそうもないので、一応、本文を発表した次第である。低温度コンクリートの強度について、興味をもたれる読者の今後の研究の参考となれば、著者の幸甚とするところである。

## 新京浜國道多摩川大橋について

正 員 中 村 政 男\*

正 員 坂 田 中\*

### (I) 緒 言

新京浜國道即ち 36 号國道の多摩川橋新箇所架設されるのが本多摩川大橋であり箇所は「矢口の渡」として有名な処である。下部工事は昭和 13 年 4 月着工し同 17 年完成す。上部工事は戦時中のこととて有効幅員 6 m の本橋を架設し本道路の一応の開通をみたが翌 20 年 4 月戦災の爲惜しくも焼失した。戦後京浜國道の交通量増加の爲本橋架設の要望生じ既定の鋼橋

を架設することとなり昭和 21 年末より製作にかかり桁製作は昭和 23 年 3 月末迄に完了、架設も並行して進め本 24 年 3 月竣工。

### (II) 構造大要

#### 下部工事

橋 台	基礎杭打(松丸太末口 20 cm 長 15 m) 半重力式鉄筋コンクリート造…… 2基
橋 脚	低水敷基礎井筒(長 11.50~15.00 m) 鉄筋コンクリート造…………… 4基 高水敷 基礎杭打(松丸太末口 20 cm

\*建設省関東地方建設局、技官