

P C 鉄道橋の長大化に関する問題点の研究

高 橋 克 男 *
菅 原 操 **
野 口 功 ***

1. 緒 言

プレストレストコンクリートはその経済性、保守の有利性の上から、現在中小スパンの橋りょうにおいて非常に多く使用されている。しかし鋼桁に較べて自重が4～5倍程度になるため、長大スパンにP C 桁を採用しようとする場合、施工上あるいは、基礎の設計上から制約を受ける場合が少なくない。P C 鉄道橋の適用スパンを更に長大化するためには、自重が大きいことによる不利をなるべく小さくしなければならないのである。本研究は主としてこの問題点について検討を加え、研究を行ったものである。

2. P C 鉄道橋の長大化の諸問題

P C 鉄道橋においてスパンが35 m程度になると、活荷重とP C 桁の自重はほぼ等しくなり、スパンが60 m程度になると桁自重は活荷重の2倍にもなってくる。

従って長大スパンにおいてP C 桁を経済的に製作するためには、桁自重および自重以外の死荷重を出来るだけ小さくすることによって全体の荷重を大巾に減ずることが効果的である。この目的を達するために、橋りょうの構造形態において工夫を行うことも出来るが、構造形態は架橋地点の地形的条件によって制限を受けることが多いので、一般的な問題点として取扱うことは出来ない。一般的な問題点として取扱うことの出来る事柄としては次のような事項が考えられる。

(a) 道床を排除し、軌道を道りように直結することによって道床の重量分だけ軽量化にすること。

(b) 特に高強度のコンクリートを使用し、許容応力度を高くして桁断面を小さくして軽量化を計ること。

(c) 軽量コンクリートを使用しコンクリートの比重を小さくして軽量化を計ること。

(a)の方法はその効果もかなり大きいので研究を行って十分に価値のある問題点である。

そのため軌道を所定の精度で据えつけること、および苛酷な繰り返し荷重の条件に耐えることが出来、しかも保守上支障を来たさない構造ならびに施工方法の研究を行う必要がある。

(b)の特に高強度コンクリートを用いることは、現在の技術では比較的容易であり、部材の設計

* 国鉄東京工事局 次長

** 国鉄建設局

*** 国鉄構造物設計事務所

において基準とする σ_{28} を 700 Kg/cm^2 程度のコンクリートとすることはさほど困難ではない。

しかし、高強度のコンクリートを使用することによって、強度の増加した分だけ断面を薄くすることが出来るとは限らない。何故ならば、コンクリートの断面の厚さは単にコンクリートの応力度が許容応力度以下になるように決められるものでなく、コンクリートの打込みの難易、乾燥収縮の量によるひびわれ発生を防ぐこと等からも決められるからである。現在普通コンクリートで作られている $P0$ 桁はすでにコンクリートの打ち込み、乾燥収縮等に対する悪影響を生じない範囲で最少断面が採用されているので、高強度のコンクリートを使用しても、更に断面を薄くすることには多くを期待出来ないのである。

また、高強度コンクリートを得るためには、良好な骨材を使用しなければならないが、最近天然骨材の不足が目立っており、良好な骨材の入手に困難を来すことが少なくない。

軽量コンクリートでかつ相当の強度を期待するためには、人造の骨材を使用することになるので、今後生産工場が増備されて行けば供給について大きな問題点が残ることは少ないと考えられる。更に断面の厚さについても、特に薄くすることを考慮しなくても、コンクリートの比重を小さくすることだけで、普通コンクリートに較べて 20% 程度も自重を減ずることが出来るのである。

3. 軽量コンクリートによる $P0$ 鉄道橋の長大化の研究

(1) 目標とすべきコンクリートの強度と比重

前章にのべたように、 $P0$ 鉄道橋のスパンを、経済的に長大化する方法の一つは、使用するコンクリートを、現在までに用いられているものより更に高強度とするか、あるいは比重を小さくすることなどによって、軽量化することである。

筆者らは、 $P0$ 鉄道橋の経済スパンを、さし当って 60 m 位までのばすことを考え、スパン 40 m 及び 60 m の鉄道橋について、比較設計を行なった結果、コンクリートの強度と比重の組合せに対して、表-1の工事費の比較が得られた。

表 - 1 上部構造の工事費の比較

圧縮強度 (Kg/cm^2)	スパン 比重	39.8m(移動架設)	62.4m(場所打)	備 考
300	1.6	284千円/m	429千円/m	コンクリート 3,000円/m ³ 増 単 価
400	1.9	270	415	— 2,000円/m ³ 増
400	2.5	270	424	
500	2.5	272	414	
600	2.5	271	416	コンクリート 1,000円/m ³ 増 単 価

表一1は上部構造のみの工事費であるが、桁を軽量化することによって、架設方法が簡単になり、また下部構造が軽易なものになるなど、全体工事費の節減に影響するところが多い。わが国の河川では、流水の関係から、河川中に支保工をたてて工事が出来る期間が制限される場合が多く、そのためPC桁は現場打ちよりも、移動架設がよく用いられる。一般に移動架設の設備能力としては、100m程度のものが多く用いられており、標準設計の鉄道橋では、スパン約35m以内に制限されることになる。しかし軽量コンクリートを使用すれば、同程度の重量でスパン45m位まで設計することが可能となり、この点からも非常に有利である。

以上のことから、PC鉄道橋の経済スパンを40～60mに延長するために、比重1.9で、設計強度400Kg/cm²のコンクリートを主体として研究することとした。

(2) 軽量コンクリートの設計上の問題

(a) 配合と強度

国内で行なわれた試験練りの結果コンクリートの圧縮強度と比重との関係は図一1のとおりである。

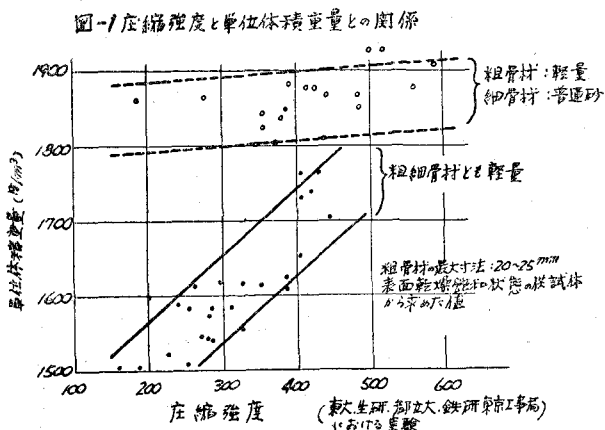
コンクリートの比重を1.6とするためには、砂利、砂とも軽量骨材を使用する必要があり、また、比重1.9を得るためには、砂利のみ軽量骨材を使用すればよい。

(b) コンクリートのヤング係数

コンクリートのヤング係数は、PC橋としては、プレストレス導入時の応力損失と桁のたわみに大きく影響する。今までに行なわれた試験結果によれば、コンクリートの強度とヤング係数との関係は表一2のとおりであって、普通コンクリートにくらべて非常に小さい。

表一2 コンクリートの圧縮強度とヤング係数との関係 (Kg/cm²)

種 別	σ_{28}	300Kg/cm ²	400Kg/cm ²	500Kg/cm ²	備 考
普通コンクリート		300,000	350,000	400,000	現行PC指針より
軽砂利 普通砂 コンクリート		180,000	210,000	240,000	電研における実験より
軽砂利 軽 砂 コンクリート		130,000	175,000	215,000	米国における実験より



ヤング係数はP C桁の設計上重要な数値の一つであるので、更にデーターを収集する必要がある。

(c) コンクリートのクリープ収縮

コンクリートのクリープ、収縮量は、P C橋としては、長期間におけるプレストレスの損失に影響が大きい。

軽量コンクリートを用いたP C桁のクリープの実測値は数少ないので更に測定を進める必要がある。

(d) コンクリートの耐久性について

軽量コンクリートの耐久性の検討のため、試験片を用いて凍結融解試験が行なわれている。セメントペースト部分における連行空気泡は、耐久性の増進に役立つことは、普通コンクリートと同様であるから、軽量コンクリートの場合も空気連行作用のあるセメント分散剤またはA E剤の使用が望まれる。

(e) コンクリートの疲労強度について

鉄道橋は道路橋にくらべて、設計荷重に近い実荷重が、繰返し載荷されるので、橋りよう材料について疲労の問題を考慮に入れないわけには行かない。

そのため、円柱供試体および長さ5.0 mの試験桁6本について繰返し載荷試験を実施中である。

(f) 軽量コンクリートを使用した桁の載荷能力

長さ5.0 mの試験桁について、曲げ試験6本、剪断試験7本を行なった。(写真-1)その結果、曲げ破壊については、普通のP C桁の計算方式で十分よく合うことがわかった。しかしコンクリートの圧縮強度が $520 \sim 540 \text{ kg/cm}^2$ の場合でも曲げ引張強度は 25 kg/cm^2 程度と考えなければならない。またヤング率は $200,000 \text{ kg/cm}^2$ と仮定すると、桁のたわみが計算値によく合っているが、これらの点について普通のP C桁とくらべて各種の考慮が必要である。

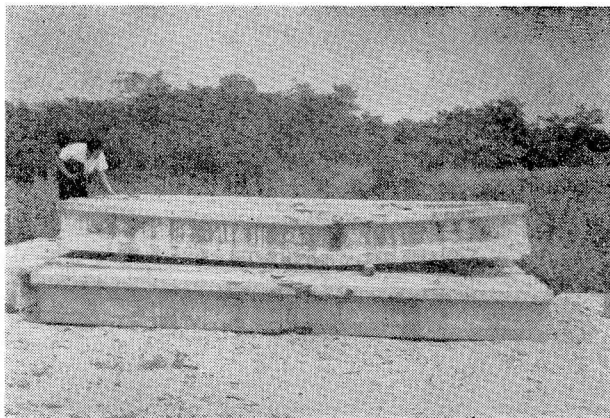


写真 - 1

筆者らは、最も効果的な桁として、普通コンクリートと軽量コンクリートの複合桁を考案し、

予備試験として複合円柱供試体の試験を行ない、ついで長さ5 mの複合桁の試験を行なったが、その破壊機構は十分計算にのり、且つ、桁のたわみを比較的小さくすることができて、有効であると思われる。

(3) 軽量コンクリートの施工上の問題の研究

(a) 軽量コンクリートの打込方法

軽量コンクリートは、コンクリート自体の比重の軽いこと、特に粗骨材の比重がモルタルより軽いことのために、振動締固めを行なっても、コンクリートの流動状態が、普通コンクリートと異なっている。

筆者らは高さ1.3 mの鉄筋入りブロック12個と、高さ2.7 mの大型試験桁2個について打込試験を行なって、打込方法を検討した。

(i) 鉄筋入りブロックによる打込試験

本試験は、比重約1.9、設計強度 400 Kg/cm^2 という軽量高強度コンクリートのうち、良好な打込みの行なわれる範囲で、なるべく硬練りの配合を定め、かつこれに適應する締固め方法を見付け出すための予備試験である。

すなわち施工上適当と思われるスランプ、0～2 cm、3～5 cm、6～8 cm、の3種のコンクリートについて、締固め時間を3種に変えて打込み、これらの組合わせの中から、最も適当なものを選ぼうというものである。

試験に用いたコンクリートの示方配合は、表-3のとおりである。

表-3 打込試験に用いたコンクリートの配合

種別	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	空気量(%)	水セメント比 W/C (%)	単位セメント量 G (Kg)	単水量 W (Kg)	細骨材率 S/A (%)	単位細骨材量 (Kg)	単位粗骨材量 (Kg)	分散剤 (ポリス) % 5 (kg)
A	1.5	0～2	5±1	3.6	46.0	16.6	3.7	67.0	58.0	2.3
B	1.5及び2.0	3～5	5±1	3.6	48.1	17.3	3.7	63.1	54.4	2.41
C	1.5	6～8	5±1	3.6	48.0	18.2	3.7	61.5	52.8	2.4

試験片は実際のP.C.桁の設計に多く用いられる形状で、鉄筋、シースなども実際によく用いられる配置とした。

振動機は500 W、3000 r.p.m.のもので、型わくの両側面に1台ずつとりつけ、1.2層打込みの際は下部に、3.4層打込みの際には腹板上部に移動させた。打込み中、コンクリートの流動状態を観測し、打込後早期に脱型して、コンクリートの表面状態、締固まり状態などを調

査した。

試験結果は写真-2のとおりである。

この試験により比重約1.9、設計強度 400 Kg/cm^2 のコンクリートを施工するには、スランプ3cm程度のものを、この試験桁について1層当り5～8分程度の振動時間で締固めるのが適当であることがわかった。この場合振動時間が長いと、コンクリートの締固まり程度はよくなるが、桁下面にモルタルの分離を生ずるので注意を要する。

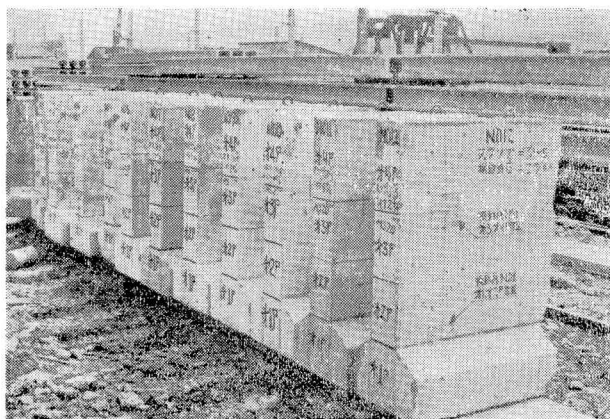


写真-2

(iii) 大型試験桁による打込試験

前項の打込試験によって、一般に用いられる断面のP C桁に対して適当な軽量コンクリートの配合と締固め方法についての目安を得たが、P C桁のスパンが40m位になると、桁高も3m程度になるので、この程度の高さの桁に対する打込方法が一つの問題となって来るのである。そこでこの程度の桁高を有する大型試験桁の打込試験を行なったのである。

コンクリートの示方配合は表-4のとおりである。

表-4 大型試験桁打込試験に用いたコンクリートの示方配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位水 量 W (Kg)	単位セ メント 量 C (Kg)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨 材率 S/A (%)	単位細 骨材量 (Kg)	単位粗 骨材量 (Kg)	分散剤 ボノリス No. 5 (Kg)	備考
15	3～5	3～4	168	467	36	37	631	547	2.34	

セメント：小野田早強セメント

比重3.15

砂：天然砂（多摩川産）

比重2.65

F. M. 3.32

砂利：軽量骨材（メサライト）

比重1.34

F. M. 6.48

コンクリートは、型枠の上部の一端から投入し、型枠振動機による流動状態を観測し、打込後早期に脱型して、コンクリートの締固まり具合を調査し、またコンクリートコアーによる圧縮

強度試験、ソニスコープによる測定を行なって均質性を確かめたのである。

振動機は500W、3,000r. p. m.のものを型わく両側面に2個ずつとりつけ、コンクリートの打上り速度は1m/minを標準とした。

出来上りコンクリートの状態は写真-3、のとおりであって、内部もよく締っており、コンクリートコア16個による圧縮強度は平均値495kg/cm²、変動係数9.9%であって実用上十分な強度と均質性を有していることがわかった。

(b) 軽量硬練りコンクリートの施工管理について

軽量硬練りコンクリートの施工管理上の問題の一つは、軽量骨材の吸水量が大きいということである。骨材を現場に放置した場合には、常に含水量が変化しているが、細骨材についてはとくに含水量を一様に保ち難い。

軽量粗骨材は吸水量の絶対値は大きい、表面水を均一に保つことが比較的容易である。たとえば使用前に一時間程度吸水させれば、表面水をほぼ均一にすることができ、また、現場に山積みしたものゝ撒水することによっても、実用上均一に近い状態にすることができる。

しかし軽量細骨材はこのような方法で表面水を均一にすることは難しく、また逆に乾燥したときは、飛散して扱い難いものである。したがって、実際のPC桁の現場施工に当っては砂利のみ軽量骨材におきかえるのが実用的であり、とくに表-1の経済比較と併せて考慮すればなおさらそうであるといえる。

(c) 軽量硬練りコンクリートの練混ぜについて

土木用の普通のコンクリートの練混ぜについては、重力式ミキサーが主体をなしているが、スランプが小さくなり、とくにPC用のようにセメント量が多く粘着性が高いコンクリートになると、モルタルがミキサー内部や、羽根に付着して、十分な練混ぜが行なわれなくなって来る。とくに軽量高強度コンクリートでは自重が小さいために、セメント量が多くなりがちであるから、重力式ミキサーでは練混ぜの能率が悪くなる。そこで強制練混ぜ方式のミキサーの開発が必要となって来るのである。

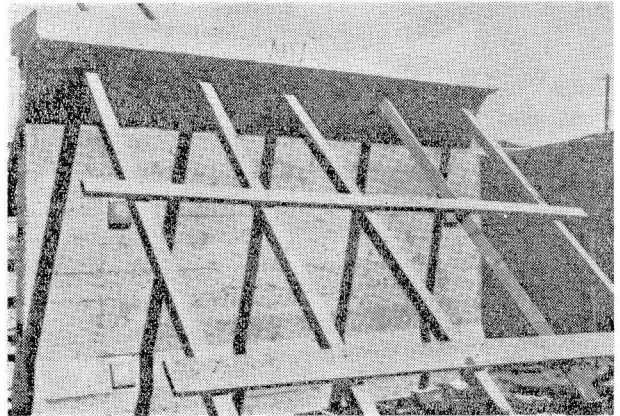


写真 - 3

国鉄では表一5の3種の強制練り式ミキサーの試作を行なったが、この種のコンクリートに対して、それぞれ重力式ミキサーよりも良い練混ぜ性能を示している。

表一5 試作した強制練混ぜ式ミキサーの諸元

項 目	番 号	No. 1	No. 2	No. 3
型 式		タービン式	タービン式	プラネタリー式
容 量		0.5 m^3	0.5 m^3	0.5 m^3
羽 根 の 数		3 枚	6 枚	スクレーパー用 2枚混練用3枚 1組を2組
羽根の回転数		40 r.p.m	10~30 r.p.m	スクレーパー用20 r.p.m 混練用自転 60 r.p.m 公転 20 r.p.m
主 電 動 機		1.5KW	3.0KW	1.5KW
伝 達 方 式		第1段Vベルト 2.3段歯車	油 圧	Vベルト
備 考		王子重工KK で試作	日曹製鋼KK で試作	山中重機KK で試作