

国鉄中央鉄道学園 正会員 高田正朗[○]
 国鉄大阪工務局 正会員 津村重信

1. はじめに

近年、建築部門では、高層化と相俟って、人工軽量骨材コンクリートの使用が著しく増加してきており、その研究も進んでいる。しかし、土木の分野では構造物の軽量化に対し、適、不適ということがある、まだ広く使われているとはいえない。長スパンのコンクリート桁とか、軟弱地盤上の特殊構造物に限って、軽量化を考えるに比べてきている。

標題の研究は、関西地区にある国鉄阪和線の立体交差化工事に際し、高架橋、軌道と軽量化し、粘土とレンス状にかみ此質の悪さを補うことに端を発している。本工事は地元住民との話し合いが長引き、当初の予定より6ヶ月遅れ、昭和48年10月頃完成する予定である。

国鉄では列車速度の向上と軌道狂いを小さくするため、直結軌道としてのスラブ軌道の開発を進めている。このスラブ軌道は、図-1にみるように工場で作成したプレキャストコンクリートスラブ(5"×2"×0.8")とコンクリート路盤上とならべ、弾性をもたせ、所定の位置に据え付けるため、コンクリート路盤と軌道スラブとの間(約50mm)をセメントアスファルトで充填し、レールを敷設するものである。これは従来の有道床軌道と比べて、死荷重が約2/3に減ぜられ、高架橋上とこれと採用した場合、非常に経済的な設計も可能である。本研究はこの立体交差化工事の一部に、人工軽量骨材コンクリート高架橋を施工し、そこでスラブ軌道を採用するため、その高架橋の設計・施工並びに実荷重試験が主体である。しかし、工事の進み方が遅れているため、このうち、人工軽量骨材コンクリートの基礎的な試験と、高架橋の設計を中心に報告します。

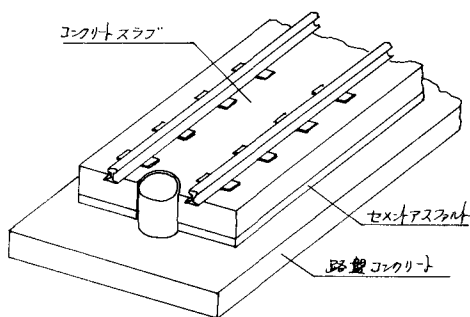


図-1 スラブ軌道
 (路盤コンクリートがその高架橋のスラブであり)

2. 人工軽量骨材コンクリートの基礎的な実験

軽量コンクリートの鉄道高架橋施工例は少く、とくに関西地区では初めての試みである。そこで実施工事に適した軽量骨材を見出すこと、同時に軽量骨材によるコンクリートの状態を確認するため基礎的な実験を行った。軽量骨材としては、比較的大量に供給できるものを中心に、造粒型2種類(ライオサイト、ピルトン)、非造粒型2種類(メサライト、アサノライト)を選び、細骨材、粗骨材とも軽量の場合(軽・軽と略す)と、細骨材には天然川砂を使用した場合(軽・重と略す)の合計8つの組み合わせをつくり試験を行った。

試験は、単位重量、スランピング、空気量、圧縮強度(σ_c , σ_{c0})、圧裂試験法による引張試験、ヤング率、ポアソン比、膨張、収縮の測定、衝撃試験及び鉄筋の付着試験である。

共通条件として、 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$
 単位セメント量 $C = 300 \text{ kg/m}^3$, $S/a = 45\%$ と設定し、実施配合の際の参考にするため、 $W/C = 50\%$, 55% , 60% と3段階に分けた。またセメントは、各骨材メーカーのものゝ夫々の骨材に合わせて使用した。粗骨材はすべて前日より水槽に入れて、24時間以上のプレウエッチングを行い、練り混ぜ前に、タオルでふいて表乾状態とし、細骨材は表面水量を測定し、補正として使用した。

種類	別	W/C	単位 セメント 量	細骨 材率 (%)	測定									
					cm スランプ	% Air	kg/cm ² σ_{7d}	kg/cm ² σ_{28}	% 生比重	10% オフ年 ヤブ年	% オフ年比	作層強度 kg/cm ²		
A	軽重	50	300	45	1.0	4.0	205	322	1.87	2.33	0.16	25.3		
B	"	"	"	"	0.6	4.2	186	269	1.87	2.41	0.27	22.4		
C	"	"	"	"	1.5	4.0	179	254	1.93	1.87	0.32	15.7		
D	"	"	"	"	0.5	5.6	202	293	1.88	1.68	0.26	23.0		
A	"	55	"	"	1.7	4.6	156	253	1.85	1.65	0.20	17.9		
B	"	"	"	"	6.7	5.8	143	228	1.87	1.78	0.26	15.4		
C	"	"	"	"	7.7	4.6	155	211	1.89	1.37	0.33	19.5		
D	"	"	"	"	6.1	5.6	169	225	1.87	1.77	0.12	19.9		
A	"	60	"	"	21.5	3.8	127	202	1.74	1.05	0.22	19.8		
B	"	"	"	"	23.5	3.9	107	202	1.87	-	-	23.2		
C	"	"	"	"	21.2	4.2	107	189	1.87	-	-	14.5		
D	"	"	"	"	21.9	4.5	118	174	1.85	1.30	0.27	19.1		

表-1 各種骨材を用いた時のコンクリート試験結果(軽重の例)

結果(表-1)を見ると、普通コンクリートに比べて概ね20~30%圧縮強度が小さく、引張強度は圧縮強度の6~11%であった。 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ に対しては、粗骨材だけが軽重で、細骨材が天然川砂の場合、 $W/C = 50\%$ のものが、 $\sigma_{28} = 254 \sim 322 \text{ kg/cm}^2$ となり、少し強度不足といえるし、スランプも0.5~1.5cmと極めて小さく施工の面を考えると不十分であった。このスランプが小さい理由は、骨材の吸水程度が不足していたものと表乾状態としたことと原因があると考ええる。

衝撃試験は10x10x40cmの角柱供試体とスパン30cmのビーム状にして、所定の高さより、20kgの球形落錘を落下させるジャクソン衝撃試験機を使い、半分は折れるまでの落下回数をもって判定を試みたが、過去の本機による実験データもなく、今後、この資料をもとに普通コンクリートも試験し、解析することとしている。

しかし今回の試験の結果、分離しやすく、打ち込み易いこと、強度が期待でき、しかも供給プラントが現場から4km、15分ほどに3にあることから、適当な軽量骨材と見出す

粗骨材 最大寸法	スランプ	Air	W/C	S/a	W	C	G	S	混和剤
15mm	15cm	5.0%	51%	45%	kg 168	kg 330	kg 503	kg 792	ポリス NO.5L

表-2 追試験の示す配合(1m³当り)

ことができた。選定された種類の軽量骨材について、追実験を行ったところ、表-2の配合で、 σ_{28} の平均が306.3kg/cm²、変動係数1.4%という非常に良い軽量コンクリートが得られた。現在、この辺の軽量コンクリートを中心に実施配合の検討を進めている。

なお実際の工事では、細粗骨材の組み合わせは、軽重という形で考えられている。軽重と選んだ理由は、軽重より、ヤング係数が大きく、直結軌道構造にとって変位量の点で有利であること、また今日までの実績では、あまり採用されていない(軽・軽)事から多少の不安心がある等により、軽重と選んで施工することとした。

3. 直結軌道用軽量コンクリート高架橋の設計

軽量コンクリートを用いた場合に期待できるものは、構造物の自重を軽くすることによって起る部材断面の縮小並びに基礎地盤への負荷の軽減であり、これからくる経済的な設計への可能性である。今回の高架橋施工箇所は、単線区間に列車荷重はK5-16を採用している。設計条件は主に、土木学会「人工軽量骨材コンクリート設計・施工指針(案)」及び国鉄「建造物設計標準」によっているが、この他に直結軌道を載荷するため、鉛直変位、水平変位が致命的なものとなるため、表-3のスラブ軌道の修繕限度の値を参考としている。これはスラブ軌道を載荷している構造物がこの値を越えると、スラブ軌道を修繕しなければならなくなる。このような限度値があるため、従来の3mの張出部を有する8m×3(径間)+3m×2=30mの標準高架橋型式では、たわみ、不平等下による段違いが大きすぎて不利なため、段違い、不平等下が比較的小さい背割式高架橋

項 目	鉛 直		水 平			
	角折れ	段違い ^{mm}	角折れ		段違い ^{mm}	
レール圧力	$\frac{8.4}{1000}$	8	弾性 $\frac{8}{1000}$	固定 $\frac{7}{1000}$	弾性 6.9	固定 2.2
レール圧力	$\frac{3.5}{1000}$	5	弾性 $\frac{24}{1000}$	固定 $\frac{24}{1000}$	弾性 3.2	固定 2.8
車町 走行	乗心地	$\frac{6}{1000}$	20	$\frac{2.5}{1000}$	6.5	
	安全性	$\frac{10}{1000}$	40	$\frac{5}{1000}$	13	

表-3 スラブ軌道の修繕限度(120KM/h)案

(10m×3(径間)=30m)を採用した。(図-2)高架橋のスパンも従来は8mが経済的だが有効であるが、今回の高架橋は有道床軌道に比べて死荷重が約2/3に減っており(表-4)、基礎の地耐力も考え合せると、10mのスパンが経済的であるとしてこれを採用した。また今回設計したスラブ軌道載荷の軽量コンクリート高架橋は、1ブロック30m当りコンクリート使用量が約170m³で、一般の有道床軌道載荷の普通コンクリート高架橋が190m³必要とするの比べると、経済的であるといえる。しかしスラブ軌道と載荷した普通コンクリート高架橋と比較すると必ずしも有利な設計とは今回なっていない。それは軽量コンクリートが初めてという点で施工による誤差並びに衝撃に対する配慮をしているからである。例えば軽量コンクリート高架橋のスラブは計算(表-5)では、20cmの厚さ、5cm程厚くしていること、ヤング係数が普通コンクリートに比べて小さいので水平変位をおさえるため、柱と5cm太くして、75cm×75cmとしている(表-6)などである。なお軽量骨材鉄筋コンクリートは単位重量を2.1t/m³、許容地耐力は常時25t/m²とし、基礎は杭な

	有道床軌道	スラブ軌道
軌きよう 砒 石	$0.45 \times \frac{1}{2.41} = 0.19$	$0.20 \times \frac{1}{2.0} = 0.10$
排水コンクリート	$0.355 \times 1.9 = 0.67$	—
軌道スラブ	$0.040 \times 2.35 = 0.09$	—
セメントアスファルト	—	$0.160 \times 2.5 = 0.40$
計	$0.95 \frac{t}{m^2}$	$0.62 \frac{t}{m^2}$

表-4 軌道重量の比較

厚さ	スラブ厚 20 cm				スラブ厚 25 cm			
	線路方向		直角方向		線路方向		直角方向	
位置 B向	支 点	中 央	支 点	中 央	支 点	中 央	支 点	中 央
M t/m	-0.91	0.58	-3.61	2.28	-0.97	0.61	-3.78	2.39
b cm	100	100	100	100	100	100	100	100
h "	30	20	30	20	35	25	35	25
d "	24.5	14.5	26.0	16.0	29.5	20.5	31.0	21.0
As cm ²	Dφ13 ②200 6.34	同左	Dφ16 ②200 9.93	同左	Dφ13 ②200 6.34	同左	Dφ16 ②200 9.93	同左
σ _c kg/cm ²	14	20	42	5.8	10.8	12.2	32.6	39.0
σ _s kg/cm ²	654	704	1575	1648	555	522	1326	1290

表-5 スラブの設計応力度の計算 (σ_{ca}=80kg/cm², σ_{sa}=1800kg/cm²)

しの独立フーチングを採用した。これは粘土モレンズ状(層厚1~2m)にみながらN値が20~30という地質で、しかも現場が線路に近接し、住宅密集地で大型の杭施工機械が使えない事情によるものである。

柱	方向	制動 mm	ダブル mm	制+ダブル mm	横荷重 mm	遠心 mm	横+遠 mm	地震 mm
750 x 750	線路方向	2.9	2.6	5.5	—	—	—	5.1
	直角方向	—	—	—	2.1	2.1	4.2	4.4
700 x 700	線路方向	3.8	3.4	7.2	—	—	—	6.7
	直角方向	—	—	—	2.8	2.8	5.6	5.8

設計の面では少レオバーストレスの部
 表-6 柱のたわみ。(横荷重又は遠心荷重に25%許容変位量=2.2mm)
 分があるが、これは工事完了後、実荷重による各部応力の測定、解析を行って、今後の設計の参考にしていただきたいと考えている。

4. 軽量コンクリート高架橋の施工

軽量コンクリートを用いた場合の施工上の問題点は、(1) 生コンクリートの品質管理 (2) 打設方法 (3) 締固め方法である。品質管理は骨材の粗粒率、単位容積重量、フローベッチング等の変化により、コンクリートの品質に重大な影響を及ぼすので、供給プラントの実績、管理図などで十分に管理ができるものが検討中である。次に打設方法であるが、コンクリート打ちにポンプを使用することは現在、極く一般的な工法となっている。しかし軽量コンクリートの場合、ポンプで高さ10mの高架橋上まで圧送し、打設することは難しい。ただ6インチ管を使えばどうであろうか。このあたりの問題も、現在検討を進めている。また圧送前と圧送後のコンクリートの品質変化についても合わせて考えていく必要がある。締固め方法も資料によれば、振動数や大まなバイブレードを使う方がよいとしているが、さし込む深さ、間隔などを変化させて、今後実験し、施工に生かしたい。

最後に、この工事の完成後、電圧荷重による各部材の応力を測定する予定なので、その解析をもってこの研究を終わらせたいと考えている。

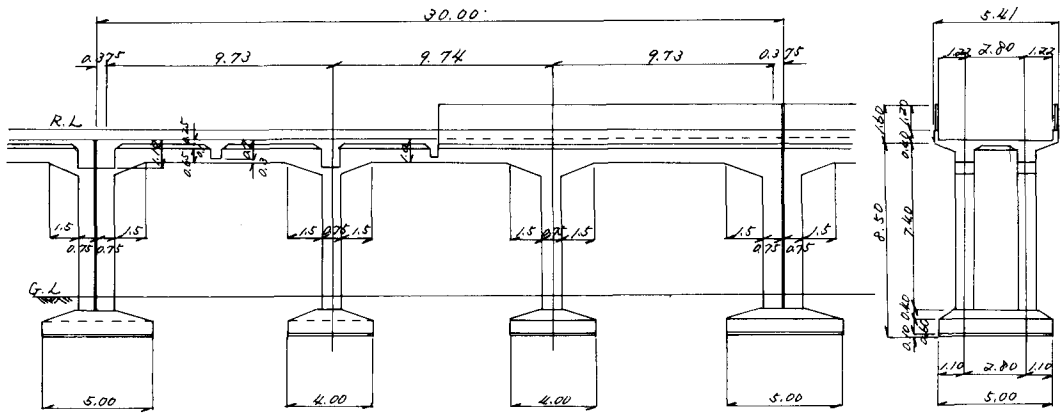


図-2 背割式高架橋。(単線・スラブ軌道載荷・軽量コンクリート)

なお本研究は、昭和46年度吉田研究奨励金と付与された研究であることと付記いたします。