

## 軽量 PC 曲げ部材の衝撃破壊について

小 池 晋\*  
橋 田 敏 之\*  
宮 坂 慶 男\*\*

### 1. ま え が き

軽量コンクリートを用いたプレキャスト部材が、運搬架設などの取扱い中に、もろいこわれ方をするのをしばしばみかける。これは、極部的な衝撃荷重に対して、軽量骨材を使用したコンクリートの抵抗力が少ないためである。

ところで、曲げ部材に同じような衝撃荷重が作用したときの抵抗性についてはどうであろうか。

国鉄では、東北本線 赤羽～川口間の金山架道橋を軽量骨材コンクリートを用いて製作するに際し、PC曲げ部材の衝撃試験を行なって、衝撃曲げに対し、ある種の軽量コンクリートが十分安全であることを確認することができたので、この試験結果を報告する。

### 2. 試験の概要

JIS A 5313 で定められている S 107 桁（プレテンション方式、スパン 7.0）を軽砂軽砂利を用いたコンクリート（粗骨材は容積比 50% を天然産の砕石で置換している）と普通砂利を用いたコンクリートで製作し、桁のスパン中央に重さ 200 kg の重錘を落下させることにより衝撃力を与えた。

衝撃力は落下高を変えることにより変化させている。まず、50 cm の高さより落下を開始し、10 cm 間隔に高さを増して最高 2.8 m までとした。各落下高での落下回数はそれぞれ 3 回ずつで最後の 2.8 m では軽量コンクリート桁で 13 回、普通コンクリート桁で 100 回であった。

この結果、初ひびわれは普通骨材を用いた桁において低い落下高で生じ、高い位置から重錘を落下する衝撃破壊に対しては、軽量コンクリートを用いた試験桁が普通コンクリートを用いた試験桁より少ない回数で同じ程度の破壊状態に達したものである。

本試験では、落下錘の重量を調節しなかったため、一

\* 国鉄構造物設計事務所

\*\* 国鉄東京工事局

般の静的破壊試験にみられるような折損破壊を生ずることはできなかった。ここでは、ひびわれ箇所が増し、ひびわれ幅が拡大する大きな衝撃力をくり返し与えて、ひびわれを進行させ、コンクリートをひびわれにより細片化し、この細片のはく落状況のある程度を破壊状態と考えて载荷を中止したものである。

これらの結果から、PC軽量コンクリート桁のこの種の耐曲げ衝撃性は、ひびわれに対しては、普通骨材を用いたコンクリートと同等以上であるが、くり返しひびわれ荷重に対しては低いものと考えられる。

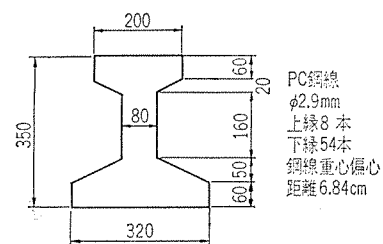
前者より、フルプレストressingで設計した軽量PC桁を一般の橋梁に使用するに当って、衝撃荷重に対する曲げ部材の設計に当って特別の注意を払う必要が認められないものと考えられる。

### 3. 試験 桁

#### (1) 試験桁寸法およびプレストレス

試験桁は JIS A 5313 スラブ橋用プレストレストコンクリート橋桁の内、S 107 桁の断面、設計数値を用いた。本桁は、桁長 7.3 m、スパン 7.0 m のプレテンション桁で、その断面形は 図-1 に示すものである。

図-1 試験桁断面および設計数値



桁には  $\phi 2.9$  mm、PC鋼線が上縁に 2 本、下縁に 54 本用いられ、これら PC鋼線に最初に与える緊張力は、PC鋼線 1 本につき 870 kg である。

#### (2) 使用材料

- 1) セメント：小野田早強ポルトランドセメント
- 2) 混和剤：ビンゾール
- 3) 骨材：

- 細骨材；人工軽量骨材（メサライト）  
5 mm 以下
- 粗骨材；人工軽量骨材（メサライト）  
5~10 mm
- 砕石；5号 荒川産  
10~20 mm

骨材の試験結果は表-1 および 図-2 に示す。

軽量コンクリート試験桁の骨材粒度は、土木学会で定める標準粒度に適合した良好なものである。

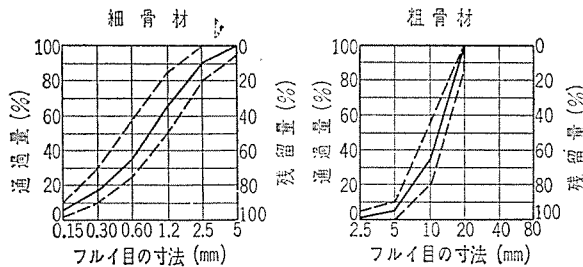
なお、粗骨材については、軽量骨材は 20 mm 以下の粒径のものを 10 mm ふるいによりふるいにかけて 10 mm 以下を用い、10~20 mm の粒径は、天然石の砕石を用いた。また、粗骨材の粒度分布と FM 値はいずれも軽量砂利と砕石の混合したものに対して求めており、比重の相違を考慮して、便宜上容積に換算して求めてある。

表-1 軽量桁使用骨材試験結果

	比 重		吸水量 (%)	単位重量 (kg/m³)	粗粒率	備 考
	完乾	表乾				
軽量細骨材	1.48	7.77	19.69	1034	2.71 6.59	5 mm 以下
軽量粗骨材	1.22	1.34	9.40	764		5~10 mm
砕石粗骨材	—	2.72	1.10	1555		10~20 mm

注：軽量粗骨材と砕石粗骨材の混合は絶対容積比 1:1 とした。  
軽量細骨材、軽量粗骨材は日本メサライト工業（株）製のものである。

図-2 軽量試験桁ふるい分け試験結果



4) P C鋼線：JIS G 3536 に適合する φ2.9 mm P C鋼線を用いた。

5) 配合：試験桁の配合を表-2 に示す。

軽量コンクリートの配合は、コンクリートの単位重量を増すことなく、構造用に適した軽量コンクリートをうるため、粗骨材のうち粒径の大きいものを砕石に置換しているが、砕石を用いた理由は、圧縮強度、極部支圧強度、極部衝撃、凍結融解などの諸性質を改善すること、また砕石加工が 10~20 mm 程度の粒度のものをそろえ

るのが比較的容易であるためである。

混和剤は、軽量コンクリートの実際の構造物が耐候性の改善を考慮して空気連行を行なうのに合わせてペンゾールを使用した。

普通コンクリートは、製作工場で従来プレテンション桁に用いている配合を使用している。

6) コンシステンシー：コンクリート施工に当ってスランプを測定の結果、軽量コンクリートが、練上がり時 2~7 cm、打込み時 3~4 cm 程度、普通コンクリートは打込み時 5~6 cm であった。軽量コンクリートについては練上がり後のスランプの状況はつぎのようであった。

スランプ 練り混ぜ直後	6.5 cm
練り混ぜ 10 分後	4.0 cm
練り混ぜ 30 分後	3.0 cm

(3) コンクリートの練り混ぜ、締固めおよび養生  
軽量コンクリートの練り混ぜは、軽量細骨材の吸水率の変動がいちじるしく大きいこと、これを考慮した配合方法を適切に定めることが重要である。

本試験桁の施工は、完全乾燥状態の軽砂をプレウエッティングしないで、練り混ぜどきに、完全乾燥の砂を投入するようにした。なお軽量砂利は前回は散水し十分吸水させておけば 6~10% の範囲の吸水率となり、軽砂利をあとから投入してもモルタルの水分をいちじるしく吸収することがない。

材料の投入順序は、まず軽砂、セメント、水の 95% を同時に投入し 3 分間練り合わせてモルタルを作り、これに軽量砂利、砕石および残りの水を投入して 2 分間混合した。この 5 分間の練り混ぜにより軽砂の吸水は 24 時間吸水量の 70~80% 程度となり、その後の吸水が緩慢になるので、コンクリート打込み作業などにも特別支障を生じない。ちなみに、コンクリート練り混ぜ終了後、運搬打設までのスランプの低下は約 2 cm であった。

ミキサは、国鉄東京工務局試作のパンタイプ強制練り（王子式 O 型）を使用した。容量は 0.5 m³、タービン式でかくはん羽根は 3 枚で、回転数は 38 rpm である。

練り混ぜの終了したコンクリートはトロに受け、約 50 m 運搬のうえ、型わくの中へ投入した。

コンクリートの締固めには棒状バイブレーター（振動部径 45 mm、振動数 8000 rpm）2 台を用いた。コンク

表-2 試験桁のコンクリートの配合

配合 コンクリート種別	コンクリート設計強度 σ <sub>28</sub>	スランプ (cm)	最大骨材寸法 (mm)	水セメント比	単セメント量 (kg)	単位細骨材 (kg)	単位粗骨材 (kg)	空気量 (%)	混和剤ペンゾール (cc)
軽量コンクリート	400	3~5	20	38	480	402	軽砂利 260 砕石 526	4~6	19
普通コンクリート	500	3~5	20	38	460	697	砕石 1056	—	0

リートの打込み速度は1バッチ (0.5 m<sup>3</sup>) につき約6分を要し、運搬時間は約5分であった。

試験桁はコンクリート打設後、桁上面に散水し、シートでおおって直射日光を避け、材令1日で脱型し、散水とシートによる被覆を行なった、材令7日より散水を中止し以後試験日まで野外に放置した。

表-3 コンクリート圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

種 別	材令 (日)	3	5	14	28
軽量コンクリート		405	462	565	600
普通コンクリート		362	412	470	539

(4) コンクリートの品質

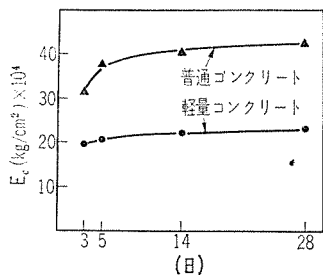
a) 圧縮強度 試験用供試体は φ15 cm × 30 cm の円筒供試体を用いた。試験の結果を 表-3 に示す。

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を円筒供試体 φ15 × 30 を用い、圧縮ひずみより求めたものを 表-4、図-3 に示す。

表-4 コンクリートのヤング係数 (×10<sup>4</sup> kg/cm<sup>2</sup>)

種 別	材令 (日)	3	5	14	28
軽量コンクリート		19.5	20.6	22.1	22.8
普通コンクリート		31.5	37.6	40.7	42.5

図-3 コンクリートのヤング係数



(5) 試験桁の応力状態

軽量コンクリート (No. 3 桁)、普通コンクリート (No. 4 桁) の両試験桁は、同一ベンチの同一緊張鋼線にコンクリートが打設されたため引張力を導入直後 P C 鋼材に与えられている鋼材応力度の差は、コンクリートの弾性係数による応力損失などがあるだけである。

4. 載荷装置および載荷

載荷は、図-4 に示すように桁を両支点でささえ、その中央に真矢打ちの要領によりモンケン 200 kg を落下させることにより行なった。落錘の落下点には重錘による局所的なコンクリートの破壊を防ぐため 図-4 (b) に示すような硬木のパットを置いて衝撃力を桁上面に分布させている。

載荷は 50 cm の落下高から 10 cm 間隔に 2.7 m まで順次落下高を大きくし、同一落下高では3回のくり返し載荷を行なった。2.8 m の落下高では、試験桁がある程度の破壊状態に至るまで落下をくり返した。最終落下回数は、軽量コンクリート桁で 82 回、普通コンクリート桁で 169 回であった (表-5 参照)。

図-4 載荷装置

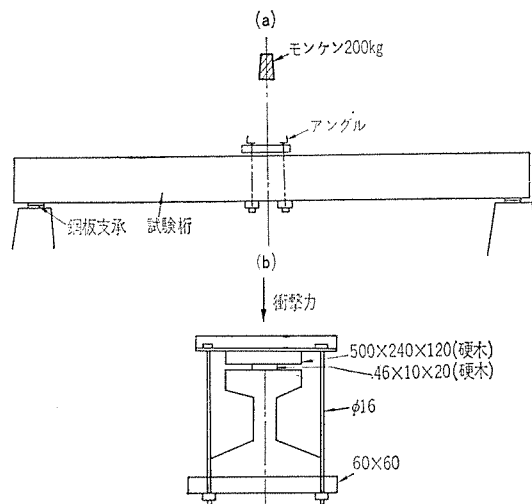


表-5 落下高と落下回数

落下高 (m)	軽量コンクリート桁		普通コンクリート桁	
	回数	累計	回数	累計
0.50	3	3	3	3
0.60	3	6	3	6
0.70	3	9	3	9
...	...	...	...	...
2.50	3	63	3	63
2.60	3	66	3	66
2.70	3	69	3	69
2.80	13	82	100	169

5. 試験結果

(1) ひびわれ状況

重錘の落下高を次第に増すと初ひびわれが生ずる。初ひびわれは軽量コンクリート桁で 1.7m の落下高で、普通コンクリート桁では、これよりも低い 1.4 m の落下高で認められた。重錘の落下高を 10 cm 間隔で増したため、初ひびわれは数カ所に同時に確認された。

重錘の落下高を増大すると、ひびわれが新たに生じ、ひびわれも進展する。図-5 は全載荷が終了した状態のひびわれ図を示している。同図中陰影で示すところは、くり返し落下により、コンクリートが細片化し、はく落した部分を示している (写真-1 は No. 4 軽量試験桁ひびわれ状況)。

a) 初ひびわれ 軽量コンクリート桁では支点より 0.7~1.0 m の区間において桁腹部に斜に、また他端支点より 0.9~1.2 m に横締孔をはさんでほぼ水平に初ひびわれが認められる。この他1支点より 0.15~0.4 m の間に横締孔付近にひびわれが認められる。また1支点より 0.8 m 離れた上縁から桁腹部中頃までに桁に直角

図-5 ひびわれ図

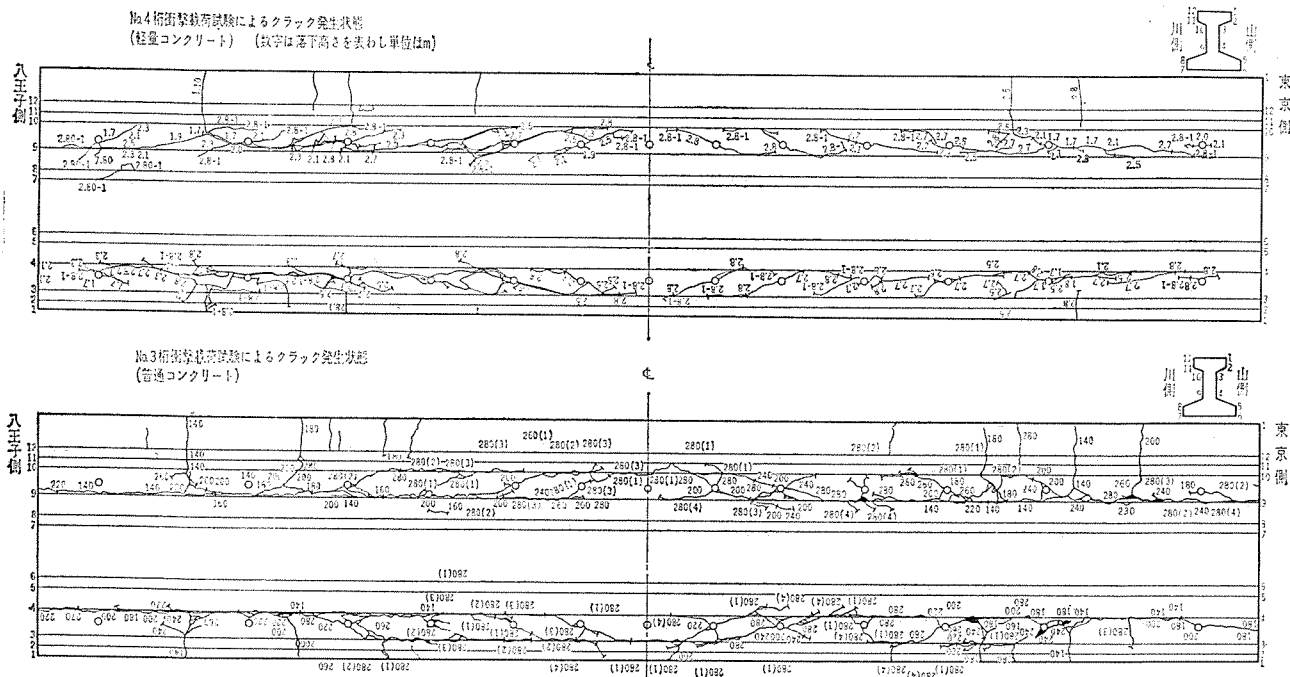
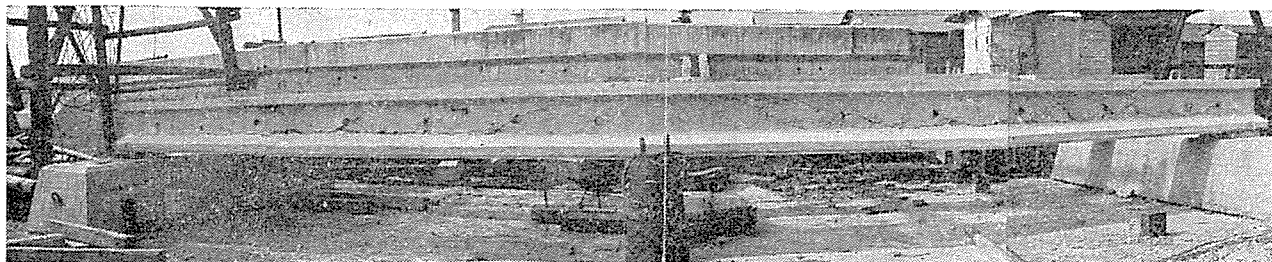


写真-1 軽量コンクリート桁クラック状況 (手前は落下させた重量物)



なひびわれが認められる。

普通コンクリート桁では、支点より 1.45 m 程度の間に桁腹部と下縁との交線に沿ったひびわれが認められる。このほか支点より 1 m の範囲内に上縁から腹部の中頃までにわたって桁に直角なひびわれが認められる。

また、横締孔付近にも、一部ひびわれが認められる。

初ひびわれの主要なもの、軽量コンクリート桁では、腹部に生じている斜めひびわれであり、普通コンクリート桁では腹部下方にある水平なひびわれである。両ひびわれは、ひびわれの進展の角度が異なっている点が明らかな差違である。上縁に桁に直角に生じているひびわれは、衝撃力によりたわんだ桁が反動で上方へたわんだための負の曲げひびわれである。

**b) 斜めひびわれ** 斜めひびわれを試験桁の中央をはさんだ左右と両側面について各ひびわれごとに位置、方向を表わすことは、斜めひびわれの終始点が明らかでないこと、ひびわれの方向が変化していることなどから、むずかしいので、簡単にひびわれ方向と本数を示すと表-6 のようになる。

表-6 斜めひびわれ

項 目	軽量コンクリート桁	普通コンクリート桁
ひびわれ 本 数		
入 王 子 川側面	8	5
山側面	8	5
東 京 方 川側面	5	5
山側面	5	5
ひびわれ 角 度	25~8° 20° が多数	31~20° 20° が多数

斜めひびわれの角度は、プレストレスの影響により、つぎにのべる複合ひびわれをのぞいて支点に近づくにしたがって中央付近のひびわれよりも緩になっている。両試験桁ともひびわれ間隔は同程度である。

**c) 複合ひびわれ** 両試験桁とも、支点より 1.7 m の範囲に生じた斜めひびわれと上縁において桁に直角に生じたひびわれとが連結した複合ひびわれが認められる。複合ひびわれは概して上縁ひびわれが低い落下高で上縁から腹部にかけて桁に直角に生じたものに、下縁近くの前述の斜めひびわれが連絡したり後述の負の斜めひ

びわれが連絡したりしている。複合ひびわれに似たものに斜めひびわれがすでに生じていたところへ、負の曲げひびわれが交さくしたひびわれがあるが、この場合は複合ひびわれと異なり、斜めひびわれの方向は負の曲げひびわれの影響を受けていない。

複合ひびわれは上縁のひびわれと連結して、ひびわれ角度が大きい。

d) 負の曲げひびわれ 桁上縁から桁腹部中頃までにかけて、桁にほぼ直角方向に、比較的落下高が小さいうちに生ずるひびわれが負の曲げひびわれで、軽量コンクリート桁で支点から 2.5m の範囲に、普通コンクリート桁で 2.0m の範囲に認められる。

e) 負の斜めひびわれ 前述の斜めひびわれ(正の斜めひびわれ)を連結するように反対方向に短い負の斜めひびわれが生じている。このひびわれ角度は正の斜めひびわれよりも、下縁に近いものは緩であり、上縁では大となっており、上縁のひびわれ角度は 40 度を越えるものもあり興味深い。

f) その他のひびわれ 落下をくり返すと、斜めひびわれは上縁と腹部との交線付近に達し、その後、この交線にそって水平に発達する。この傾向は、普通コンクリート桁で顕著であるが、軽量コンクリート桁では、落下回数の影響と思われるが発達していない。

またくり返し回数が増加するにしたがって、以上にのべたひびわれの未発達なものが現われてくる。

(2) コンクリートのはく落

落下高がで落下を 2.8m くり返すことにより、ひびわれ幅が拡大し、ひびわれ間隔がせまくなる。そしてついにはコンクリートが細片となって腹部よりはく落するようになる。このはく落する薄片は、コンクリート腹部表面にあたる厚みは、奥行よりはるかに薄いもので、あるいは棒状を形成したのもみられる。

両試験桁のはく落状況の相違は、軽量コンクリート桁は、はく落箇所が少ないにもかかわらず、1カ所のはく落の大きさが大きいことが図-5に明らかに示されている。両試験桁のはく落は、いずれも初ひびわれが生じた箇所に多く生じていることも一つの特徴である。

(3) 初ひびわれ荷重

単純桁の中央に重錘を落下する場合、最大動荷重係数(衝撃荷重+静荷重/静荷重)は、次式で示される。

$$D \cdot L \cdot F = 1 + \sqrt{1 + \frac{96 E_c I_c}{l^3} \frac{P + \frac{17}{35} W}{\left(P + \frac{5}{8} W\right)^2} h}$$

ここに

$D \cdot L \cdot F$ ; 動荷重係数  $E_c$ ; 被衝撃部材のヤング係数

$I_c$ ; 被衝撃部材の断面二次モーメント

$l$ ; 被衝撃部材の曲げスパン

$P$ ; 落下錘の重量  $h$ ; 重錘の落下高

本式に各試験桁の数値を代入して求めた  $D \cdot L \cdot F$  は、軽量コンクリート桁で 30、普通コンクリート桁で 34、と求められる。以上によれば、軽量コンクリート桁は普通コンクリート桁に比較し、初ひびわれ荷重は 9 割弱であるが、初ひびわれ落下高では、普通コンクリートよりも 2 割強も大きい値を示している。

6. 考 察

軽量コンクリートと普通コンクリートにより製作した同一断面のプレテンション曲げ試験桁の衝撃荷重比較試験の結果、つぎの諸項目について明らかにすることができた。

1) 初ひびわれ落下高は、軽量コンクリートが大きくなりうる。

このため、通過物体の移動にともなう衝撃(この場合動荷重係数は 2 以下となる)は、試験結果が示すようにコンクリートのヤング係数の小さい軽量コンクリート桁は、これの大きい普通コンクリート桁に比較し小さくなりうる。

2) 衝撃荷重が、被衝撃物体の静的荷重に比較し、いちじるしく大きい場合は、衝撃荷重によるそりによって、桁上縁の負の曲げひびわれ、負の斜めひびわれ、これらの複合ひびわれが生ずる。衝撃荷重のくり返しによって生ずるコンクリートのはく落の主要な原因は、はく落が正負の斜めひびわれに囲まれたところに生じていることから、正負の斜めひびわれが主要な原因と考えられる。

3) 軽量コンクリートは、普通コンクリートよりも少ないくり返し落下回数で 1カ所のはく落面積が大きい。これは、軽量コンクリートの正負の斜めひびわれでかこまれる面積が大きいことも一因と考えられる。

7. む す び

本試験は、軽量コンクリートを PC 鉄道橋に使用するに際して行なった曲げ試験の一部をなす小試験で一般の曲げ衝撃試験として最初から計画されたものではない。

そのため、載荷時のコンクリートのひずみ、桁のたわみなどの動的測定が行なわれていないので、初ひびわれ応力度などについて検討の結果をのべることを差しひかえることとした。

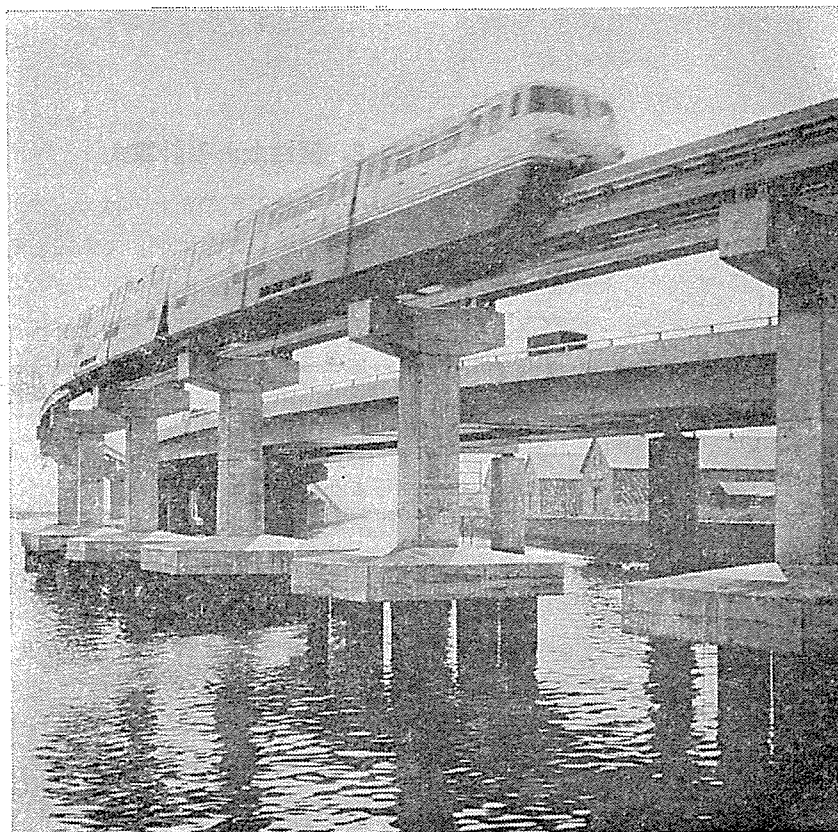
軽量コンクリート桁の載荷時の動的な性質を明らかにするためには、さらに試験を重ねる必要が認められる。

おわりにのぞみ、試験桁の製作、試験を担当したオリエンタルコンクリート KK の関係者の方々に感謝いたします。

(1966.8.30・受付)

# NCS-PCパイプ

プレテンション方式 NCS溶接継手



## NCS-PCパイプの特長

- ① 継手—全強であるから支持力の低減がいらぬ。
- ② 耐撃性—頭部が耐撃的であるため確実に打止りが得られる。よつて支持力に全材強を活用できる。
- ③ 曲げ剛性—プレストレスの効果によつて曲げ剛性が大きい。よつてパイプ施工中の安全はもちろん、くい基礎の経済設計ができる。



## 日本コンクリート工業株式会社

本社 東京都港区新橋1丁目8番3号(住友新橋ビル) 東京(573)大代表0361番  
営業所 大阪市阿倍野区天王寺町南2の66 大阪(718)1881~5番  
名古屋市中村区下広井町1丁目66番地(三建設備工業ビル) 名古屋(58)代表9706番  
工場 川島(茨城県下館市) 下館 代表2181番  
鈴鹿(三重県鈴鹿市) 鈴鹿(8)代表1155番  
研究所 茨城県下館市川島工場内 下館 3942番