

供用後のプレキャスト桁破壊試験

鈴木 貫太郎*
佐藤 重尚**

1. はじめに

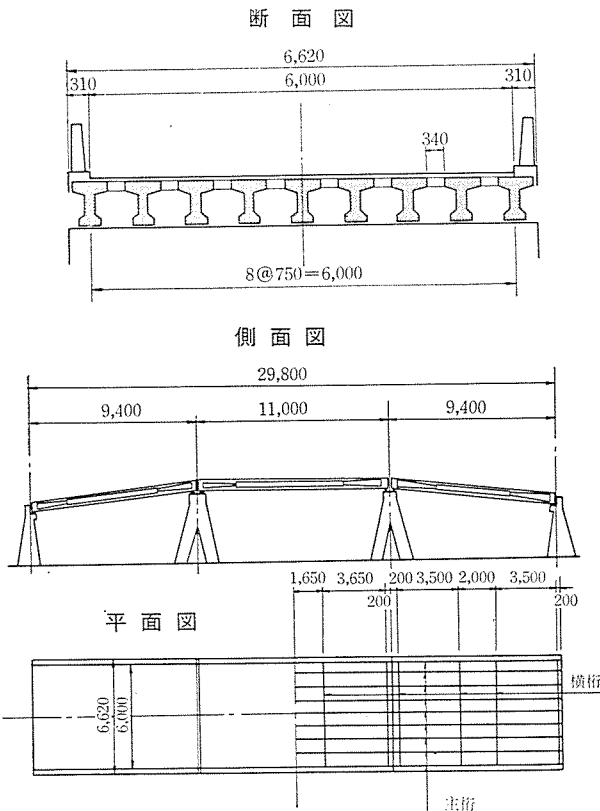
首都高速道路6号線と9号線の分岐点に箱崎インターチェンジがある。この路下には成田国際空港のエアーターミナルビルができる。ここに紹介する男橋は、この路下整備のため箱崎川を埋立てるため撤去されることになった。

本報告は、この機会に12年経過のPC桁の性状を調べるため桁の破壊試験を行なった報告である。

2. 構造および設計概要

男橋の一般図を図-1に示す。構造はプレテンション

図-1 一般図



* 首都高速道路公団 第3建設部 設計課長
** 同 設計課

ニング、プレキャストT型コンクリート橋である。

設計条件

橋種：プレストレスト コンクリート道路橋

橋格：2等橋 (TL-14)

橋長：29.972 m

桁長：9.400 m + 11.000 m + 9.400 m

支間：9.100 m + 10.600 m + 9.100 m

全幅員：6.600 m

有効幅員：6.000 m

衝撃係数： $i=10/(25+l)$ (縦方向)

破壊安全度：1.3 DL + 2.5 LL or 1.8(DL + LL)

プレストレスングの条件：フルプレストレスング

設計材料強度：(主桁のみ)

1) コンクリート

設計基準強度 $\sigma_{ck}=500 \text{ kg/cm}^2$

プレストレス導入時圧縮応力度 $\sigma_{ci}=400 \text{ kg/cm}^2$

許容曲げ圧縮応力度

部材圧縮部 $\sigma_{ca}=150 \text{ kg/cm}^2$

部材引張部 $\sigma_{cat}=200 \text{ kg/cm}^2$

許容支圧応力度 $\sigma_{ca}=150 \text{ kg/cm}^2$

許容曲げ引張応力度

部材圧縮部

全死荷重が作用する前 $\sigma_{cat}'=-18 \text{ kg/cm}^2$

全死荷重が作用した後 $\sigma_{cat}''=0 \text{ kg/cm}^2$

部材引張部 全設計荷重作用時 $\sigma_{ca}'=0 \text{ kg/cm}^2$

許容斜引張応力度

設計荷重作用時 $\sigma_{1a}=12 \text{ kg/cm}^2$

破壊安全度 { 最大値 $\sigma_{1max}=48 \text{ kg/cm}^2$

検討時 { 許容値 $\sigma_{1a}'=24 \text{ kg/cm}^2$

2) PC鋼材 $\phi 2.9 \text{ mm}$ (2本より) 126本 (スパン

9.1 m), 134本 (スパン 10.6 m)

引張強度 $\sigma_{pu}=195 \text{ kg/cm}^2$

降伏点応力度 $\sigma_{py}=165 \text{ kg/cm}^2$

許容引張応力度 { 引張作業時 $\sigma_{pai}=132 \text{ kg/cm}^2$

{ 設計荷重作用時 $\sigma_{pa}=119 \text{ kg/cm}^2$

3) 鉄筋

許容引張応力度 引張鉄筋 $\sigma_{sa}=1400 \text{ kg/cm}^2$
 腹鉄筋 $\sigma_{sa}'=2400 \text{ kg/cm}^2$

4) 断面諸係数 2種の桁の断面諸係数は表-1のとおりである。

表-1 断面諸係数

桁 種	スパン 9 100	スパン 10 600
断 面 積	$A_c=1235 \text{ cm}^2$	〃
桁上縁より中立軸までの距離	$y_c'=24.91 \text{ cm}$	〃
〃下縁	$y_c=30.09 \text{ cm}$	〃
断面2次モーメント	$I_c=415089 \text{ cm}^4$	〃
桁上縁断面係数	$Z_c'=16662 \text{ cm}^3$	〃
桁下縁断面係数	$Z_c=13796 \text{ cm}^3$	〃
回転2次半径の2乗	$i_c^2=336.1 \text{ cm}^2$	〃
偏 心 量	$ep=13.7 \text{ cm}$	13.4 cm

3. 橋 歴

本橋は昭和34年8月製作され、試験まで約12年間区道として供用されてきた。交通量は少なく、主として乗用車および小型トラックであった。大気は東京一般部と同じと考えられ特に悪くはない。高欄、地覆をのぞいてコンクリート表面の風化もみられなかった。また試験桁には、ひびわれもみられなかった。

4. 試験目的および項目

12年後のPC桁の耐力と材料の変化および実橋としての施工誤差に重点をおいた。ただ予算の関係上、桁長11m 3本、9.4m 3本、計6本のみで、十分ばらつきについて論じ得ないこと、ゲージ枚数等の制約によって破壊近傍の解析はできなかった。

現場で桁のみ取り出し、日本鋼弦コンクリート(株)多摩工場へ搬入し、下記の試験を行なった。

(1) 載荷試験

載荷試験は曲げ破壊とし、図-2に示すとおり、JIS桁基準で載荷点を定めた。載荷荷重は次のとおり行なった。

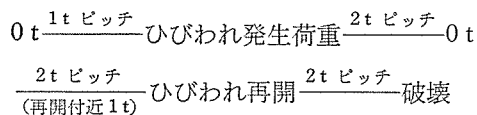


図-2 載荷装置

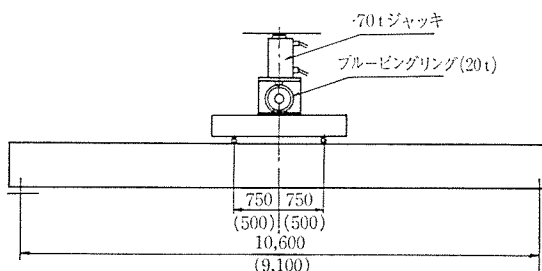
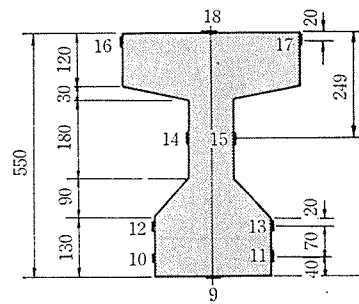


図-3



ひびわれ荷重、ひびわれ再開荷重は目視によったが、桁中央より両側1.0m計2.0mにコンクリートゲージ用接点を100mmピッチに設けコンタクトゲージ

で測定して予測した。また、桁中央断面に図-3のとおりペーパーゲージをはりコンクリート表面のひずみを測定した。たわみはスパン4等分点にダイヤルゲージ(1/100mm)をセットし、荷重ごと測定した。

(2) コンクリート表面風化度測定

各桁の上フランジ、下フランジ、ウェブのコンクリートを曲げ試験終了後試験片とし、端部より1mと中央より取り出しフェノールフタレン溶液にて中性化の進行状態を調べた。

(3) コンクリートの圧縮強度試験

曲げ試験終了後コアカッターで $\phi 100 \times 200$ のコアを桁端より約500mm(2本)、800mm(1本)の位置で3本/桁、計18本を採取した。採取したコアの両端をキッピングで水平かつ平坦にし、アムスラーで荷重をかけ、圧縮強度試験を行なった。

(4) コンクリートのヤング係数測定

前項の圧縮強度試験の前に、全コアについて動弾性係数の測定を行なった。また、圧縮強度試験時に、1桁3本のうち1本について、ペーパーゲージ($l=60 \text{ mm}$)縦方向に2枚、円周方向に2枚はり、ヤング係数およびポアソン比を測定した。

(5) 桁端部鋼線の腐食度測定

桁端部のコンクリートをこわし鋼線を取り出し腐食状態を調査した。調査方法は目視とし、点食等の有無を調査し、桁端からの距離を測定した。

(6) PC鋼線の引張強度試験

PC鋼線を損傷しないように取り出し、桁1本につき3本、引張り試験機で強度、降伏点、弾性係数を測定した。

鋼線の取り出しに際して、端部は応力導入時のすべりこみによる応力減少があるので、端部から50cm以上の点から鋼線を採取した。また、同時に桁1本につき1本のリラクセーション測定用の鋼線を採取した。

5. 試験結果と考察

(1) 載荷試験

a) たわみ 各桁の5t、10t時の桁中央部のたわ

表—2 各桁の 5 t, 10 t における中央たわみの比較

桁種	荷重	No.1桁 1/100 (mm)	No.2桁 1/100 (mm)	No.3桁 1/100 (mm)	平均 1/100 (mm)	変動係数 (%)	平均値に対する 逆算 $E_c \times$ (10^5 kg/cm^2)
9 100	5 t	418	431	401	417	5.1	3.87
	10 t	863	898	834	865	5.2	
スパン	荷重	No.4桁	No.5桁	No.6桁	平均	変動係数	
10 600	5 t	619	653	611	628	5.0	4.64
	10 t	1 321	1 398	1 296	1 338	5.6	

み量を表—2 に示す。変動係数は 5 % 代であり、桁としてあまりばらつきがないと思われる。各桁の荷重—たわみ曲線を見ると、ひびわれ、発生荷重までは、ほぼ直線変化していた。ひびわれ発生荷重から荷重 0 t にもどした残留たわみ量は 0.3~0.9 mm であった。荷重 5 t 時におけるたわみ量の平均値より求めたコンクリートの弾性係数値は、後述のコンクリートコアより測定した静弾性係数より大きく、動弾性係数に近い値であった。

b) 桁のひびわれと破壊 各桁のひびわれ荷重、ひびわれ再開荷重、破壊荷重を表—3 に示す。これを見ると同種桁において、ほぼ一致した値であり、桁としてばらつきのないものであった。

表—3 ひびわれ荷重、破壊荷重比較表

桁種	No.	ひびわれ荷重 (t)	ひびわれ再開荷重 (t)	破壊荷重 (t)	破壊状態
9.4 m	1	13.0	10.0	27.0	コンクリート圧縮部
	2	12.0	10.0	27.0	〃
	3	12.0	9.7	28.5	PC鋼線破断
	平均	12.3	9.9	27.5	
	計算値	11.3	9.1	28.1	
	測定値 計算値	1.09	1.09	0.99	
11 m	4	10.0	8.5	26.4	コンクリート圧縮部
	5	10.9	8.6	26.6	〃
	6	10.7	8.0	27.8	〃
	平均	10.5	8.4	26.9	
	計算値	10.1	8.2	26.6	
	測定値 計算値	1.04	1.02	1.01	

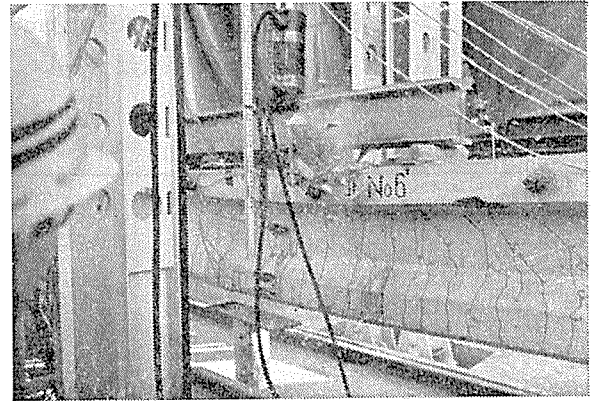
有効係数 $\eta=0.76$ で計算 $\sigma_{ck}=700 \text{ kg/cm}^2$ を用いて計算

ひびわれ荷重の計算において、有効プレストレス率は $\eta=0.76$ とし、下縁側応力度が (有効プレストレス応力 + 40 kg/cm^2) となったときの荷重を、ひびわれ荷重とした。破壊荷重の計算においては、当初設計では $\sigma_{ck}=500 \text{ kg/cm}^2$ であったが、コアによる圧縮強度試験の値を考慮して 700 kg/cm^2 で計算した。

No. 6 の破壊時の状態とひびわれ追跡を、写真—1 に示す。

ひびわれは約 10 cm ピッチで多数発生した。スパン 9.1 m の桁で荷重 22 t 時平均 32 本、スパン 10.6 m の桁で荷重 21 t 時平均 48 本であり、本数にあまりばら

写真—1 桁 破 壊

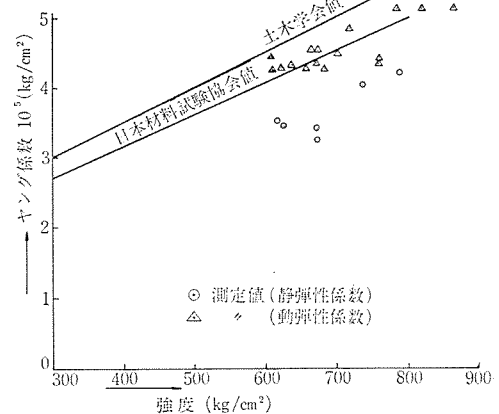


つきはなかった。ひびわれ発生後、荷重ごとに桁下縁より 30 mm の位置でスケールルーペを使用して、ひびわれ幅を測定したが、最大幅 7 mm でほとんど 5 mm 以下であった。このことはコンクリートの付着が十分であったと判定できる。破壊状態は No. 3 桁をのぞいて、コンクリート圧縮部の破壊であった。なお、実験桁はすべて当初設計における破壊に対する安全度を十分満足していた。

(2) コンクリートコア試験

コンクリートコアによる動弾性係数、圧縮強度、静弾性係数、ポアソン比の測定値を表—4 に示す。圧縮強度は当初設計の $\sigma_{ck}=500 \text{ kg/cm}^2$ を十分満足していたが $618\sim 869 \text{ kg/cm}^2$ とばらつきが大きく、値も最大のものは当初設計の σ_{ck} の 1.6 倍と非常に大きかった。弾性係数は静的な測定法によるものは動的な測定法より小さい値を示した。しかし、一般的に大きい値を示す動弾性係数においても圧縮強度—弾性係数の関係は土木学会のそれより低く、圧縮強度と逆の傾向を示した。図—4 に

図—4 強度—弾性係数



圧縮強度と弾性係数の関係を示す。

ポアソン比は 0.147~0.208 であった。

(3) 鋼線の腐食度

桁端部をのぞいて、鋼線には腐食は見られなかった。桁端部のコンクリートをハンマーで少しづつこわし、鋼

表—4 コンクリートコア測定値

桁 種	供 試 体	長 さ (cm)	直 径 (cm)	断 面 積 (cm ²)	重 量 (kg)	比 重	一次共鳴 振 動 数 c/s	動弾性係数 $\delta \times 10^5$ (kg/cm ²)	圧縮強度 (kg/cm ²)	平 均 (kg/cm ²)	弾性係数 ($\times 10^5$ kg/cm ²)	ポアソン 比
No. 1 9 400m	1	18.06	9.95	77.72	3.308	2.36	11 600	4.451	618	694	3.52	0.183
	2	17.98	9.94	77.56	3.307	2.37	11 700	4.527	704			
	3	18.54	9.94	77.56	3.419	2.38	11 390	4.436	761			
No. 2 9 400m	4	17.83	9.93	77.41	3.280	2.38	11 520	4.353	763	700	3.43	0.182
	5	18.91	9.92	77.25	3.504	2.40	11 200	4.395	671			
	6	18.25	9.94	77.56	3.414	2.41	11 360	4.405	665			
No. 3 9 400m	7	18.61	9.94	77.56	3.448	2.39	11 400	4.481	625	655	3.46	0.147
	8	17.75	9.90	76.94	3.231	2.37	11 800	4.499	682			
	9	18.52	9.94	77.56	3.424	2.38	11 170	4.272	658			
No. 4 11 000m	10	17.84	9.92	77.25	3.332	2.42	12 100	4.878	821	810	4.08	0.208
	11	18.41	9.93	77.41	3.444	2.42	11 780	4.779	739			
	12	17.60	9.95	77.72	3.294	2.42	12 100	4.839	869			
No. 5 11 000m	13	19.26	9.93	77.41	3.604	2.41	10 950	4.321	636	642	3.25	0.161
	14	18.54	9.94	77.56	3.463	2.41	11 150	4.305	673			
	15	18.04	9.94	77.56	3.330	2.38	11 340	4.282	616			
No. 6 11 000m	16	18.29	9.93	77.41	3.430	2.42	11 500	4.536	677	734	4.20	0.160
	17	17.85	9.93	77.41	3.304	2.39	12 030	4.782	736			
	18	19.24	9.93	77.41	3.648	2.45	11 520	4.841	788			

平均 739 kg/cm²

線全数を出して、腐食の度合をノギスで測定した。鋼線端部からの腐食を受けた長さは最大 33 mm, 平均 6.5 mm, 全変動係数 53.1% であった。この程度の鋼線端部の腐食は、今後の桁耐力にも悪影響はないと思われる。

(4) コンクリートの中性化試験

フランジ、ウェブについて、コンクリートの小片を取り出しフェノールフタレインで中性化の測定を行なった。ほとんどの表面は中性化されてはいるが、鉄片で表面をこすると、フェノールフタレインがアルカリ色を呈し、中性化されていなかった。中性化層の厚さは目視 1 mm 以下であり測定不能であった。

風雨にさらされているコンクリート表面は砂面が出ていることがあるが、今回の桁は表面がアスファルト舗装されており、このような現象はみられなかった。

(5) PC 鋼線の引張強度、レラクセーション

表—5 品質結果 (n=3 の平均値)

特 性	単 位	サ ン プ ル No. 桁 種					
		1	2	3	4	5	6
線 径	φ mm	2.910 2.924	2.905 2.905	2.895 2.893	2.917 2.925	2.917 2.903	2.915 2.926
断 面 積	mm ²	13.359	13.249	13.149	13.395	13.295	13.391
破断荷重	kg	2 651	2 699	2 635	2 715	2 718	2 670
引張強度	kg/mm ²	194.2	203.8	200.1	202.6	204.5	191.1
降伏荷重	kg	2 338	2 376	2 337	2 410	2 408	2 341
降伏点比	%	82.2	88.1	88.7	88.7	88.6	87.7
破断時伸び	%	5.36	5.73	5.45	5.89	5.26	5.11
弾性係数	kg/mm ²	20 060	19 660	19 880	19 840	20 308	19 680

規格値：引張荷重 2 600 kg 以上 降伏点 2 300 kg 破断伸び 3.5% 以上

PC 鋼線の引張強度、降伏点比、破断時伸び、弾性係数を表—5 に示す。これらの値はすべて規格値を満足しているばかりでなく、新材の値と差異はなかった。

各桁より 1 本資料を取った鋼線のレラクセーションロスの測定結果を表—6 に示す。初荷重は 0.8×規格降伏荷重=1 840 kg とし、測定機は 20 t 自動追尾式、温度は 20 ± 1.0°C で測定した。新材の場合一般的に 10 時間でレラクセーションロスは 1.8~1.9% であるが、12 年間の進行によって、今回の資料では 0.78~1.33 とかなり低い値を示した。

表—6 レラクセーションロス (%)

試料No.	時 間 (hr)					初荷重に対する応力比 (%)
	0.1	0	10	20	100	
1	0.22	0.49	0.78	0.88	1.34	69.3
2	0.34	0.62	0.94	1.05		68.3
3	0.20	0.44	0.80	0.89		70.0
4	0.09	0.42	0.98	1.16		67.8
5	0.13	0.41	0.94	1.13		67.8
6	0.28	0.75	1.33	1.46		68.9

ま と め

以上今回の試験結果を要約すると次のとおりである。

1) 載荷試験によるたわみは、ひびわれ発生まではほぼ直線変化であり、ヤング係数は EI より計算した場合ほぼ 4.0×10^5 kg/cm² 前後であった。また 5 t, 10 t のスパン中央におけるたわみ量の変動係数は、5.0~5.6% であった。

2) 桁のひびわれに関しては、幅、荷重ごとの追跡を