

(115) 塩害を受けたPC桁の曲げおよび剪断疲労試験について

日本道路公団試験研究所
 横河工事(株)技術本部
 同 同
 同

○紫桃孝一郎
 牟田口 豊
 笹嶋 純司
 正会員 御子柴光春

1. はじめに

北陸自動車道が石川県の海岸線近くを通過している美川IC～金沢IC間に2橋のPC桁橋がある。このPC桁橋は建設されてから25年間使用されてきたが、同地区の悩みの一つであるコンクリート桁に塩害が生じ過去3回の補修を行ってきた。しかし、塩害の進行を食い止めるにはいたらなかった。

一方、車両の大型化対策として補強することも含めて対応を検討した結果、耐荷力と耐久性の向上を図るために同PC桁橋を架け替えることになった。

そして撤去される2橋のPC桁橋は各桁間で切断され、それぞれのT桁として種々の調査・研究のための供試体とすることになった。本試験は塩害を受けたT桁の残存強度を調査するために曲げ疲労試験と剪断疲労試験を行い、今後の資料を得ることにしたものである。

2. 試験概要

本試験に用いたPC桁は図-1に示すとおり、下り線海側から3本目のT桁である。なお、PC桁橋は各桁間の中で橋軸方向に切断されたが、各T桁にはヤード打ちのポストテンション桁と、同桁間に打設された間詰めコンクリート床版も含まれたT桁となっている。しかし、間詰めコンクリート床版はヤード打ち桁と完全に一体となっていた。

また、この桁橋はPAに流入するための拡幅車線も含んでいたことから、PC桁間が一定ではなく梯形になっていたため、試験に先立ちPC桁の中心線にたいして左右対称となるように切り揃えた。

試験T桁の寸法諸元は図-2に示すとおりである。図中のA-A断面は曲げ供試体の支間中央断面(幅1.44m)、B-B断面は剪断供試体の中央側切断面(幅1.49m)である。

更に、試験を行う時点で桁コンクリートにひび割れが入っている箇所や、剥がれそうな箇所もあったがそのままの状態で行った。

その他試験として、コンクリートの圧縮強度、静弾性係数、PC鋼線の引張強さ、伸び、硬さ、マイクロ組織写真、鉄筋の引張強さ、伸びの各試験を行った。

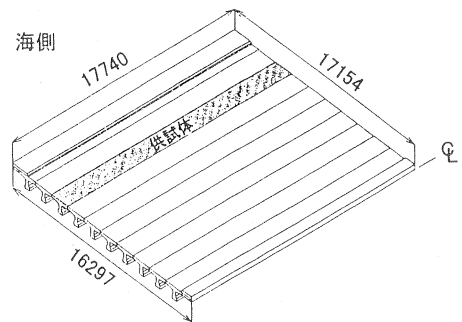


図-1 試験桁位置図

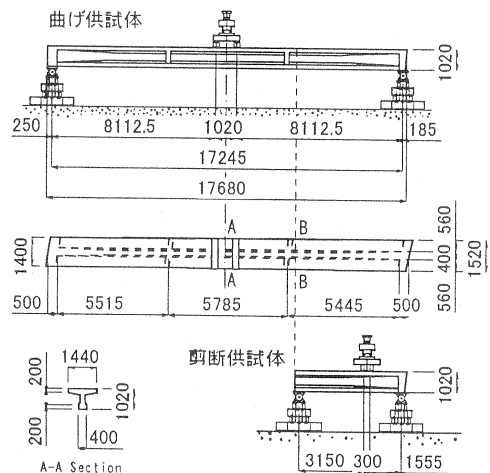


図-2 試験T桁の寸法諸元

2. 1 試験荷重と載荷方法

試験荷重は、同PC橋建設時の設計に用いた示方書(昭50)に従うことにした。

L荷重の載荷はG3桁が最大となる位置とした。

載荷幅はPC桁間の平均幅員(1.44m)とした。

(1) 曲げ試験荷重は、T桁中央の曲げモーメントが最大となる位置にL荷重を載荷し、同モーメントに相当する2点集中荷重に換算した値とした。

(2) 剪断試験荷重は、T桁支承線より桁高だけ離れた個所で剪断力が最大になる位置にL荷重を載荷し、同剪断力に相当する2点集中荷重に換算した値とした。

2. 2 段階荷重と繰返し回数

(1) 塩害を受けたPC桁であるため、建設時設計荷重より小さな荷重から開始した。

① 初荷重は、建設時設計荷重の約2分1とした。

② 段階荷重は19.6kN(2tf)ピッチとした。

③ 繰返し回数は、各段階とも4万回とした。

(2) 建設時設計荷重で繰返し載荷試験を行い、所定の耐力があると予測された場合は、段階荷重を上げて、繰返し載荷試験を続行した。

① 超過段階荷重は19.6kN(2tf)ピッチとした。

② 繰返し回数は図-3,4に示すとおりである。

(3) 曲げ繰返し載荷試験は設計荷重の3倍、剪断繰返し載荷試験は設計荷重の4倍までとした。更に耐力がある場合は、2回載荷試験を続行し破壊まですることにした。

それぞれの段階荷重曲線を図-3,4(太線)に示す。

2. 3 試験機

横河工事の構造物加力載荷システムを使用した。

形式	SLT-500S	(鷺宮製作所)
本体	構造物繰返し載荷試験機 (自重53.9kN)	
性能	最大載荷力	押し5MN
		引き3MN
	最大ストローク	P-P 300mm
	周波数範囲	DC 0.01Hz~5.0Hz

3. 試験結果

繰返し試験の結果を図-3,4に示す。ただし、縦軸左側は桁中央点の鉛直変位、縦軸右側は繰返し載荷荷重、横軸に実繰返し回数である。なお横軸2段目は、設計荷重換算繰返し回数とした。

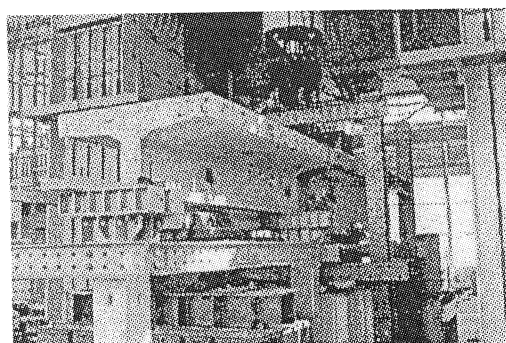


写真-1 剪断供試体載荷試験状況

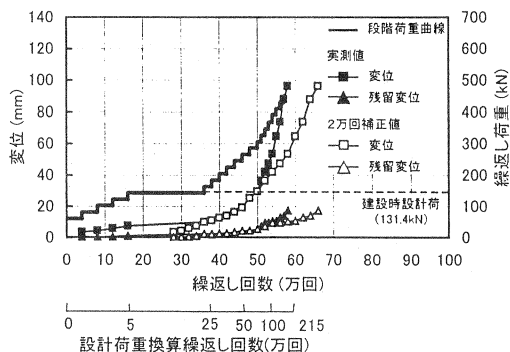


図-3 曲げ試験段階荷重-変位曲線

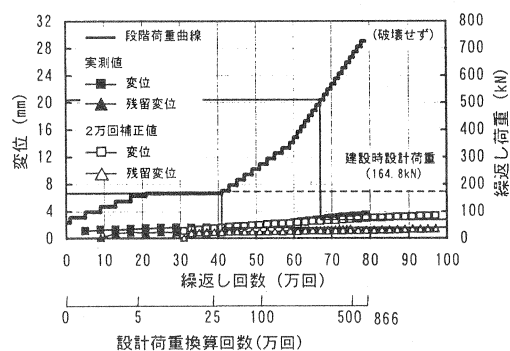


図-4 剪断試験段階荷重-変位曲線

図中の四角印は変位を三角印は残留変位を示す。また、塗潰点は変位の実測値を、中抜点は繰り返し回数を2万回として補正した変位を示す。

3. 1 曲げ繰返し载荷試験

図-3に荷重の段階载荷と T 桁中央のたわみの進行状況を示す。ただし荷重徐荷時たわみは残留たわみを示している。荷重時たわみは 245.2kN 付近と 372.7kN 付近の2個所で線が折れている。残留たわみは 245.2kN 付近が乱れているので判別しにくい、この付近で線は折れていると推定できる。

3. 2 剪断繰返し载荷試験

図-4に荷重の段階载荷と T 桁の荷重载荷点たわみの進行状況を示す。荷重除荷時のたわみは残留たわみであるがほとんど変化はない。また载荷荷重とたわみの関係はほぼ直線的である。

3. 3 その他試験

(1) コンクリートの圧縮強度及び静弾性係数試験の結果を表-1に示す。供試体4体の平均圧縮強度は 47.3N/mm²であり設計に用いた圧縮強度 40N/mm²に対して約 18%増しであった。また、平均静弾性係数は 33.4×10³N/mm²であり、設計に用いた静弾性係数 30.4×10³N/mm²に対して約 7.5%増しであった。

(2) PC 鋼線の規格値に対する平均引張強さはφ7mmで8.7%増し、φ5mmで8.0%増しであった。

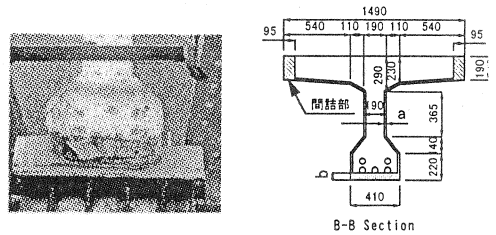
3. 4 PC 桁の状態

(1) 本PC桁は塩害によるコンクリート桁の補修を過去3回程度行っていた。補修された部分は付着している個所もあるが、大部分は再び剥がれ落ちそうな状態になっていた。特に PC 桁下フランジ下側コンクリートの欠損が大きく、スターラップ鉄筋、橋軸方向鉄筋の内側まで達していた。また更に欠損が大きな個所は PC 鋼線シースにまで達していた。

(2) 実際の断面欠損状況から欠損範囲を仮定し、断面欠損率と剛性低下率を算定した結果を表-2に示す。

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)
LFlg1	52.8	34500
UFlg1'	45.8	32100
UFlg3	44.2	34400
Web1	46.2	32400
平均値	47.25	33350

表-1 コンクリート強度および静弾性係数



	欠損深さ		断面積(cm ²)	断面欠損率(%)	剛性低下率(%)
	a (mm)	b (mm)			
(A)	0	0	5,407	0	0
(B)	10	50	4,941	8.6	19.4
(C)	10	70	4,863	10.1	25.3

表-2 PC 桁の断面欠損状況

4. 試験結果と解析

4. 1 曲げ耐荷力

図-6に T 桁中央点の荷重-変位曲線(実測値)を示す。(図中の有効プレストレス量を変化させた曲線は FEM によるもので解析には Diana を使用した。) 図-6および図-3から次のことがいえる。

(1) PC 桁の残存耐荷力は、建設時設計荷重(試験換算荷重 131.4kN)を载荷して 200 万回の繰返し载荷試験に耐えられると推定できる。

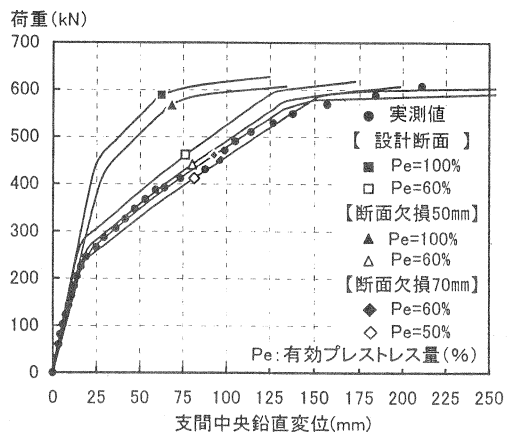


図-6 荷重-変位曲線(曲げ試験)

- (2) 繰返し載荷荷重が建設時設計荷重の 1.9 倍 (試験換算荷重 245.2kN) 程度から、シース内の PC 鋼線間で「滑り」を生じた。
- (3) 繰返し荷重が建設時荷重の 2.8 倍 (試験換算荷重 372.7kN) 程度で橋軸方向鉄筋が降伏し始めた。
- (4) (3)の状態 で PC 桁上フランジのコンクリート断面実応力度は 17.2N/mm^2 であった。
- (5) 破壊荷重は 608.0kN と建設時設計荷重の 4.2 倍であった。
- (6) 荷重-変位曲線は、残存しているプレストレス量を設計有効プレストレスの約 60% とした解析結果に近似している。

4. 2 剪断耐荷力

図-7 に荷重-スターラップ鉄筋ひずみおよびコンクリート鉛直ひずみ (桁 1/2・1/2)、を示す。図-7 および図-4 から次のことがいえる。

- (1) PC 桁の残存耐荷力は建設時設計荷重 (試験換算荷重 164.8kN) を載荷して 200 万回の繰返し載荷試験に十分耐えられると推定できる。
- (2) 繰返し載荷荷重が、建設時設計荷重の 4 倍強 (試験換算荷重 725.7kN) 程度でも、PC 桁に変化は見られなかった。
- (3) 繰返し載荷荷重を 725.7kN まで上げたが PC 桁は破壊しなかったため、725.7kN 以上は 49.0kN(5tf) ピッチで 2 回載荷試験を続行した。破壊荷重は 2893.0kN であった。なお、PC 桁下フランジ橋軸方向鉄筋 ($\phi 13$) 4 本のうち 2 本は載荷荷重が 1961.3kN の時点で相次ぎ破断した。

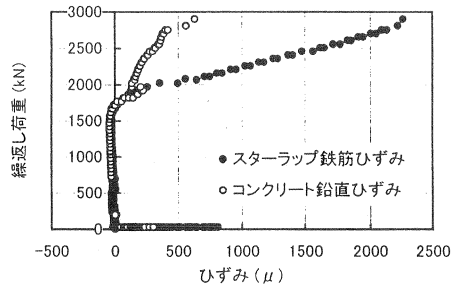


図-7 荷重-ひずみ曲線 (桁 1/2 · 1/2)

5. 結論

以上、本 PC 桁の試験および解析から、次のことが確認できた。

- (1) 曲げ疲労試験では、塩害によるコンクリート桁断面の欠損が影響し、建設時活荷重の 1.8 倍の耐荷力である。また、PC 桁のプレストレス量は建設時有効プレストレス量の約 60% であると推定される。
- (2) 剪断疲労試験では、建設時活荷重の 3 倍以上の耐荷力は十分にある。
- (3) 損傷した PC 桁の補修には、欠損したコンクリート桁断面を修復する、あるいは修復後にプレストレス量をただ追加する方法でなく、桁コンクリートをオーバーストレスにさせないでプレストレス量を増加させる方法を考えることが必要である。

6. おわりに

1 本の PC 桁を利用して、曲げ疲労試験と剪断疲労試験の両方を行うという無理な計画であったが、長い間使用されてきた実橋を用いた試験であり、多くの資料を得ることができた。

なお、本 PC 桁は無作為に選んだが、主桁ケーブル及び横締めケーブルのグラウトがほぼ完全であったことが十分な耐力を有した要因であると考えている。

一方、試験結果からは剪断疲労耐荷力が曲げ疲労耐荷力を大幅に上回っており、コンクリート構造物の心配事が一つ解消できた気もする。反面、PC 桁に導入されているべき有効プレストレス量が予想以上に減少していると考えざるを得ないことは気がかりな点である。グラウトが完全な桁ばかりでないことも考え合わせれば、更に調査を続けなければならない課題であると考えている。

最後に、道路橋特有の超過荷重の存在を意識しつつも、設計者の立場が強くなってしまった。試験としては段階荷重ごと同一繰返し回数とした方が、データの解析上からもよかったと考えている。