

日本最初のプレストレストコンクリート橋(長生橋)の耐久性調査と PC 桁の載荷試験

金沢大学大学院 学生員○佐々木浩文 金沢大学工学部 正会員 鳥居和之
(株)ピー・エス土木技術部 西垣義彦 (株)ピー・エス土木技術部 小門前亮一

1. はじめに

日本最初のプレストレストコンクリート橋は昭和 26 年に竣工した長生橋(プレテンション方式の 3 径間単純スラブ合成桁橋)である。七尾港付近に位置する長生橋は、塩分環境下で約 50 年間供用されてきたが、平成 13 年 8 月の撤去時に実施した外観調査ではコンクリートのひび割れや鋼材腐食などの損傷は見られなかった。本調査では、長生橋の撤去に伴い、コンクリートの強度特性や耐久性能を調べるとともに、撤去 PC 桁の載荷試験を実施した。

2. 調査概要

長生橋の主桁の断面図を図・1 に示す。長生橋の主桁および間詰めから採取したコンクリートコア(Φ55mm)を使用して、圧縮強度、静弾性係数および超音波パルス速度などの測定を行うとともに、コンクリート断面の中性化や塩分の浸透状況、PC 鋼線の腐食状況について調べた。また、撤去した主桁および合成桁を用いて、桁の曲げ載荷試験(スパン長：3.5m)およびせん断載荷試験ケース 1(スパン長:2.8m,a/d=3.0)、ケース 2(スパン長:2.4m,a/d=1.8)を実施した。

3. 調査結果および考察

3. 1 配合推定

主桁および間詰めコンクリートの配合推定を表・1 に示す。主桁のコンクリートの水セメント比は 30～36% であり、粗骨材の最大寸法は 15mm であった。また、主桁のコンクリートの単位体積質量は 2430kg/m³ であり、現在のコンクリートと比べ大きな値を示した。一方、間詰めコンクリートの水セメント比は 54～60% であり、粗骨材の最大寸法は 30mm であった。配合推定の結果より、主桁部では、低水セメント比の密実なコンクリートが使用され、間詰め部では、現場での打設を考慮した通常のコンクリートで使用されていたのが分かった。

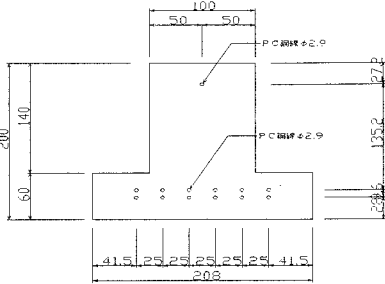
表・1 コンクリートの配合推定

	単位体積質量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	粗骨材の最大 寸法(mm)	単位量(kg/m ³)		
				水	セメント	骨材*
主桁部	2427	33	15	170	511	1746
間詰め部	2402	55	30	171	312	1919

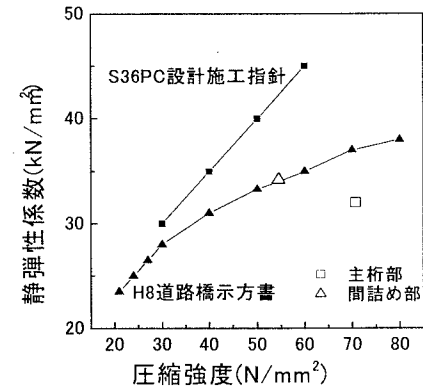
*川砂(富山県常願寺川又は庄川産)および玉砂利(富山県宮崎海岸産)

3. 2 強度特性

主桁部および間詰め部から採取したコアの圧縮強度と静弾性係数の関係を図・2 に示す。主桁部の圧縮強度は設計基準強度の 50N/mm² を上回り、67N/mm² であった。しかし、圧縮強度に対する静弾性係数の値は、建設当時の昭和 36 年 PC 設計施工指針と比較すると、主桁部では静弾性係数の値が下回っていた。この原因としては、富配合のコンクリートのために、乾燥収縮によりセメントペースト中に微細なひび割れが発生したことが、蛍光顕微鏡による内部組織の観察により確認された。



図・1 主桁断面図



図・2 圧縮強度と静弾性係数の関係

3. 3 中性化深さおよび塩分の浸透状況

合成桁の切断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧した結果、舗装部と接する表面にて、わずかな中性化が観察されたが、海水の影響を受ける桁下部では、中性化は全く観察されなかった。PC 桁下面からの塩分の浸透状況を図-3に示す。表面には比較的多くの塩分が含まれていたが、PC 鋼線の存在する箇所では、塩分はほとんど含まれておらず、塩分の浸透は表面から 3cm までの領域に限られていた。以上の結果より、建設後 50 年経過した、長生橋のコンクリートの耐久性能は非常に優れたものであった。

3. 4 腐食状況

長生橋で使用された PC 鋼線の腐食状況を調査するために携帯型分極抵抗試験装置(参照電極: Ag-AgCl)を用いて、自然電位、分極抵抗および腐食速度を測定した。これらの結果を図-4および図-5に示す。測定箇所は、主桁フランジの 2 段ある PC 鋼線のうち下段部の 2 本を用いた。自然電位は、ASTM の基準(-85mV)より貴側の領域にあり、90%以上の確率で腐食なしと判定された。また、それに対応して、分極抵抗値は約 800~1000 $k\Omega \cdot cm^2$ と大きな値を示した。交流インピーダンス法による分極抵抗値の測定結果ははつり検査の結果とも良く一致していた。

4. PC 桁の载荷試験

4. 1 曲げ载荷試験

長生橋の主桁の曲げ载荷試験における荷重-変位曲線を図-6に示す。曲げによる破断荷重は梁理論により算出した解析値の曲げ耐力を上回っていた。しかし、曲げ载荷試験により発生したひび割れは分散せず、数本のひび割れに集中する傾向が見られた。破壊性状は、R-14がPC鋼線の破断、R-15がコンクリートの圧壊(上縁のコンクリートひずみ:約 3200 μ)と両者で破壊形態が異なった。また、PC 鋼線の伸びは全体に小さく、PC 桁は脆性的に破壊した。これらの破壊形態の特徴は、桁の形状と PC 鋼線の配置の関係で、曲げにより発生するひび割れが分散されなかったことから生じたものと推察された。

4. 2 せん断载荷試験

長生橋の主桁のせん断载荷試験における荷重-変位曲線を図-7に示す。試験体のせん断耐力は、曲げ载荷と同様に梁理論により算出した解析値を大きく上回ったが、せん断スパン比が異なる、いずれの試験体もせん断による破壊ではなく、曲げ引張破壊で破壊した。逆 T 型の主桁にはスターラップが用いられておらず、このため曲げ引張破壊になったものと推察された。

5. まとめ

長生橋の主桁には、水セメント比 33%の低水セメント比のコンクリートが使用されていた。調査結果より、長生橋の耐久性能および耐荷性能は非常に優れていたことが明らかになった。

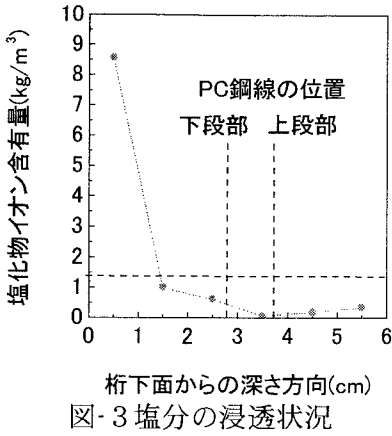


図-3 塩分の浸透状況

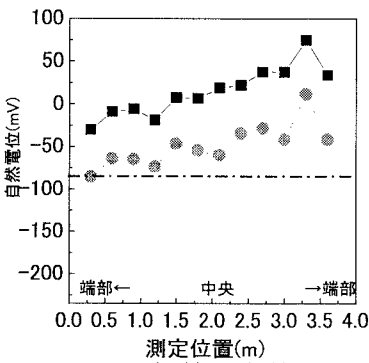


図-4 PC 鋼線の自然電位

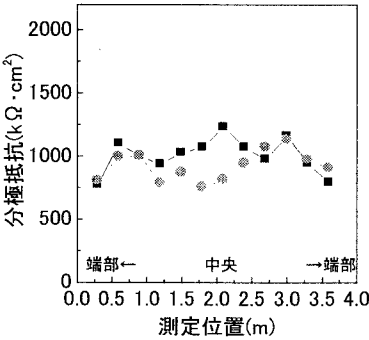


図-5 PC 鋼線の分極抵抗

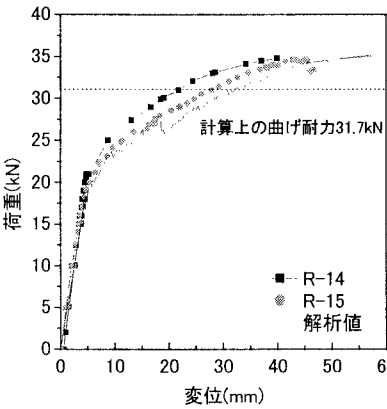


図-6 荷重-変位曲線
(曲げ载荷試験)

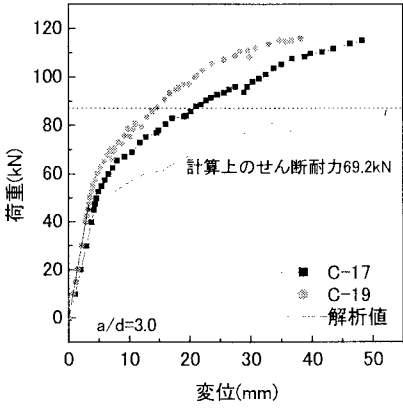


図-7 荷重-変位曲線
(せん断载荷試験)