

図-2 負載する活荷重

表-1 L荷重

橋の等級	荷重	主載荷荷重 (幅 : 5.5m)				従載荷荷重 主載荷荷重の50%
		線荷重 (kg/m)	等分布荷重 (kg/m ²)			
			L ≤ 80	80 < L ≤ 130	130 < L	
1等橋	L-20	5000	350	430-L	300	
2等橋	L-14	1等橋の70%				

5. 材料条件

復元設計を行うにあたって、材料の選定は対象橋の設計当時最もよく使用されていた材料を参考にし、設計を行った。表-2および表-3に設計に使用した材料の種類および設計用値を示す。なお、鉄筋についてはSD30 (ヤング係数 $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$) とした。断面力の計算は、上部工を平面骨組みでモデル化し汎用ソフトにより行った。

表-2 コンクリートの材料特性

設計基準強度 (σ_{ck})	ヤング係数 (E_c)	クリープ係数 (ϕ)	乾燥収縮度 (ϵ_{s0})
40 N/mm ²	$3.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	2.0	15×10^{-5}

表-3 PC鋼材の材料特性 (※定着工法 : VSL工法)

項目	内ケーブル	外ケーブル
使用材質	SWPR7A	SWPR7A
使用鋼材	12S12.4A	31S12.4A
引張荷重 (P_u)	1920 kN	4960 kN
降伏荷重 (P_y)	1632 kN	4216 kN
ヤング係数 (E_p)	$2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$	$2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
シース外径 (ϕ)	77 mm	107 mm
断面積 (A_p)	1114.8 mm ²	2879.9 mm ²
リラクゼーション率 (γ)	5.0 %	5.0 %
PC鋼材の単位長さ当たりの摩擦係数 (λ)	0.004 (1/m)	0.004 (1/m)
PC鋼材の単位角変化当たりの摩擦係数 (μ)	0.30 (1/rad)	0.30 (1/rad)
セット量 (Δl)	6.0 mm	6.0 mm

6. 復元設計と実際の設計の比較

6. 1 PC鋼材配置の比較

図-3、図-4に復元設計と実際の設計の内ケーブルのPC鋼材配置図を示す。なお外ケーブルについては目視で確認できるため、復元の対象外とした。図-3、図-4のPC鋼材が曲げ上げ・曲げ下げする破線で囲んだ部材領域に着目すると、復元設計によって求めたPC鋼材間隔が4.0m、PC鋼材曲げ上げ曲げ下げ角度が15.0°であるのに対し実際のPC鋼材の配置は、PC鋼材間隔が1.0m程度、PC鋼材曲げ上げ曲げ下げ角度が9.0°程度と双方に相違があることを確認した(各図中に一例として曲げ上げ曲げ下げ角度、鋼材間隔を記載)。許容応力度法ではPC鋼材の配置は、プレストレス導入直後・死荷重時・設計荷重時の上縁・下縁に発生する合成応力度が許容応力度の範囲に収まるように配置することを唯一の定量的な拘束条件としており、道路橋示方書にて曲げモーメントの正負が入れ替わる部材箇所では、ひび割れを防ぐためにPC鋼材を上下縁分散させて配置するように注意がなされているものの、PC鋼材間の間隔や曲げ上げ下げ角度等の制限は無く設計照査からPC鋼材の配置を一意的に確定させることは困難と考える。

したがって、PC鋼材が曲げ上げ・曲げ下げする部材領域においては、復元設計を行う際の事前調査として非破壊検査を用いた詳細調査が有力であると推測する。

また、橋梁上部工全体のPC鋼材の配置方法に着目すると、図-3に示す復元設計では3径間一連のPC鋼材配置であるのに対し、実際の設計では図-4に示すように1径間毎にPC鋼材を配置していることが認められた。これは対象橋が押し出し工法により架設されているものの、復元設計時では架設工法を考慮せずに設計を行ったことが原因であると考えられる。

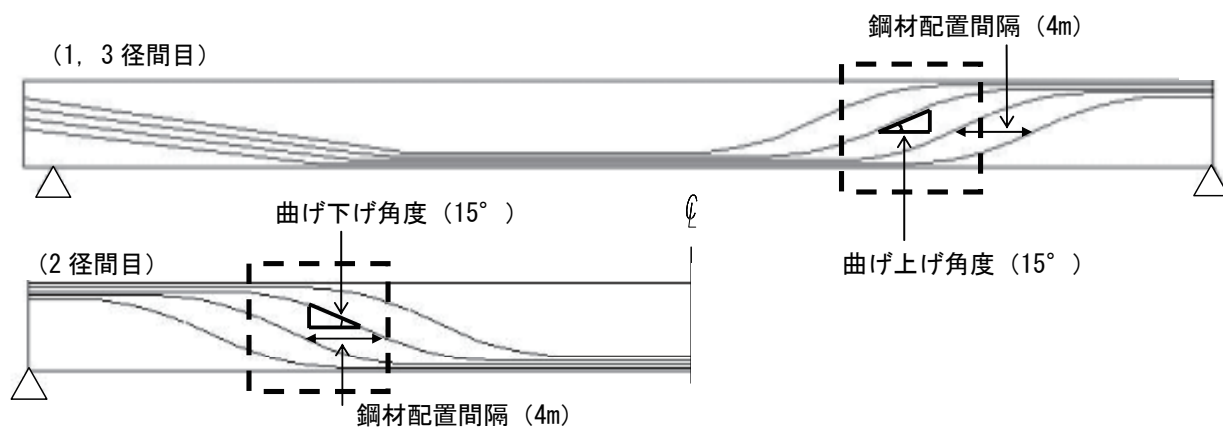


図-3 復元設計のPC鋼材配置

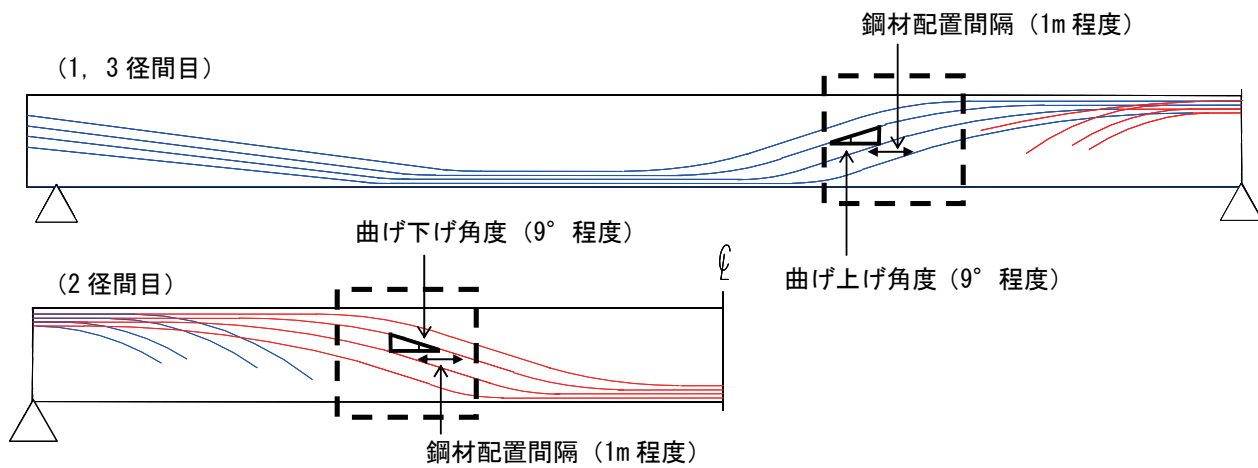


図-4 実際のPC鋼材配置

6. 2 鉄筋量の比較

スターラップの使用鉄筋量と必要鉄筋量を復元設計と実際の設計で比較した結果を図-5、図-6に示す。図-5よりPC鋼材が曲げ上げ・曲げ下げする範囲で復元設計と実際の設計の使用鉄筋量において、20~40cm²程度の大きな相違があることが認められた。これは図-6から確認できるように、復元設計により算出した必要鉄筋量は実際の設計によって算出した必要鉄筋量と概ね合致しているものの使用する鉄筋径に相違が生じたためであると推測する。しかし、広範囲の部材において復元設計と実際の設計によって算出した鉄筋量が概ね一致していることより、復元設計手法を基に橋梁の鉄筋量を把握することは可能であると考えられる。

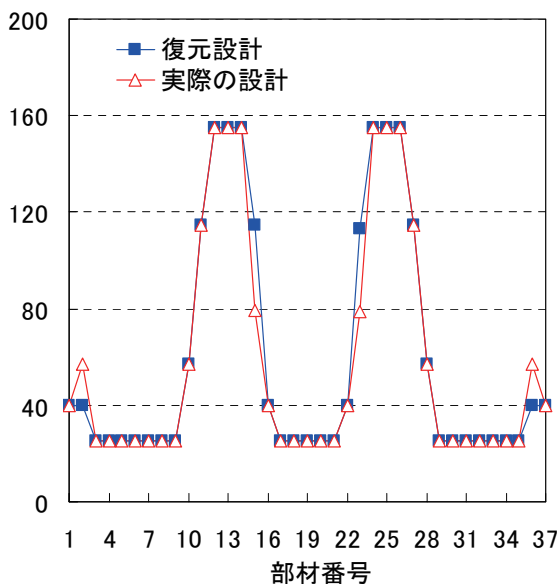


図-5 使用鉄筋量

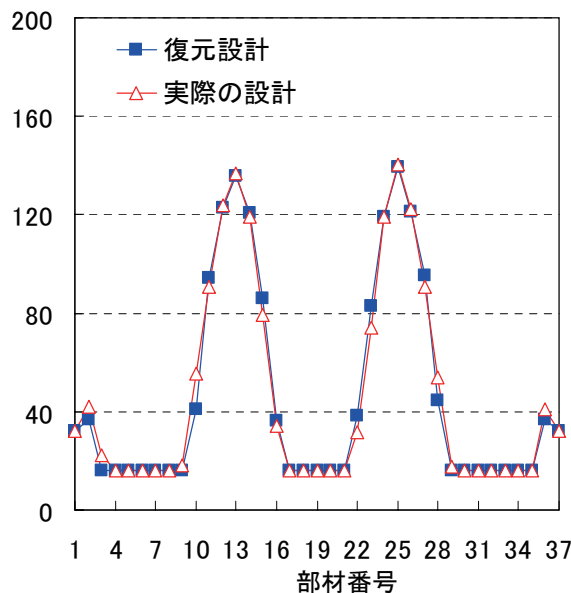


図-6 必要鉄筋量

7. 安全性評価

大型車の急増、交通量の増加に伴い、平成5年に公布された車両制限令の改訂により、最大車両総重量が20tから25tに引き上げられた。そこで、本対象橋の最大車両総重量の変遷による安全性評価を限界状態設計法にて行った。ただし本論文では終局限界に対する安全性評価についてのみ報告をする。

7. 1 負載する活荷重

平成14年に制定された道路橋示方書に準拠し、活荷重を図-7および表-4のように考慮した。

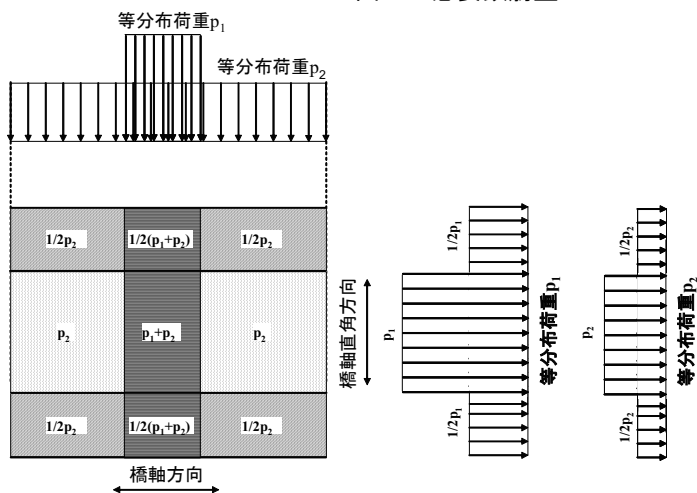


図-7 負載する活荷重

表-4 活荷重

荷重	載荷長 D (m)	主載荷荷重 (幅 : 5.5m)					従載荷荷重 主載荷荷重の 50%
		等分布荷重 p_1 (kN/m ²)		等分布荷重 p_2 (kN/m ²)			
		曲げモーメント	せん断力	$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$130 < L$	
A活荷重	6	10	12	3.5	4.3-0.01L	3.0	
B活荷重	10						

7. 2 終局限界状態

図-8に対象橋が終局限界状態の場合の設計曲げモーメント(Md)に対する設計曲げ耐力(Mud), 図-9に曲げ破壊安全率をそれぞれ示す。また図-10に対象橋が終局限界状態の場合の設計せん断力(Vd)に対する設計せん断耐力(Vud), 図-11にせん断破壊安全率をそれぞれ示す。ただし, 構造物係数(γ_i)はすべて1.15として安全率を評価した。図-8, 図-9より, 最も設計作用モーメントが作用する2径間目の支間中央にて曲げ破壊安全率が1.5であることが認められ, 部材全領域において安全率が1.0以上であることを確認した。また図-10, 図-11より, 最も設計せん断力が作用する支点からの距離がd/2(d:桁高)の位置においてもせん断破壊安全率が1.3であることを確認し, 部材全領域において安全率が1.0以上であることが認められた。以上より, 本対象橋が終局限界状態の場合においても十分な設計曲げ耐力・設計せん断耐力を有しているため, 鋼材腐食の原因である外的劣化因子によるPC鋼材や鉄筋の腐食により鋼材耐力が減衰しない限り, 曲げ破壊, せん断破壊に対する安全性が確保されていることが認められた。

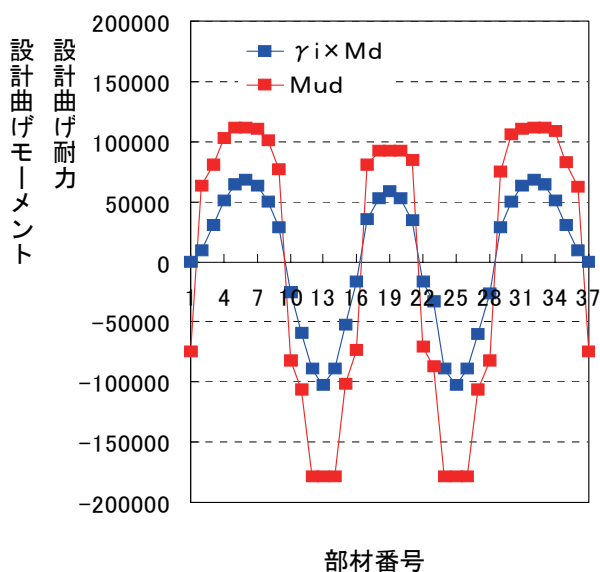


図-8 設計曲げモーメントと設計曲げ耐力

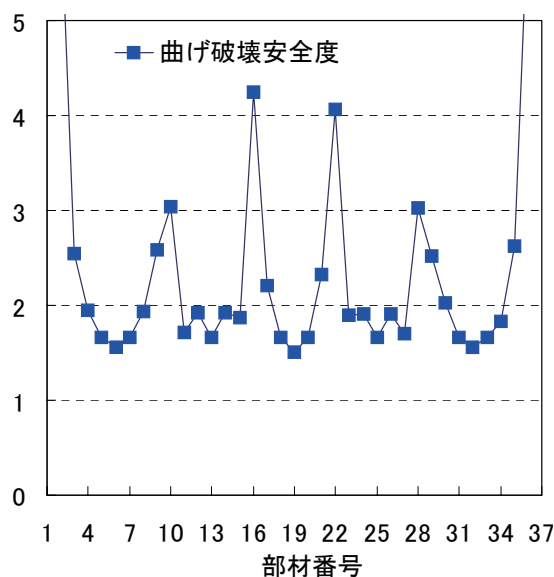


図-9 曲げ破壊安全率

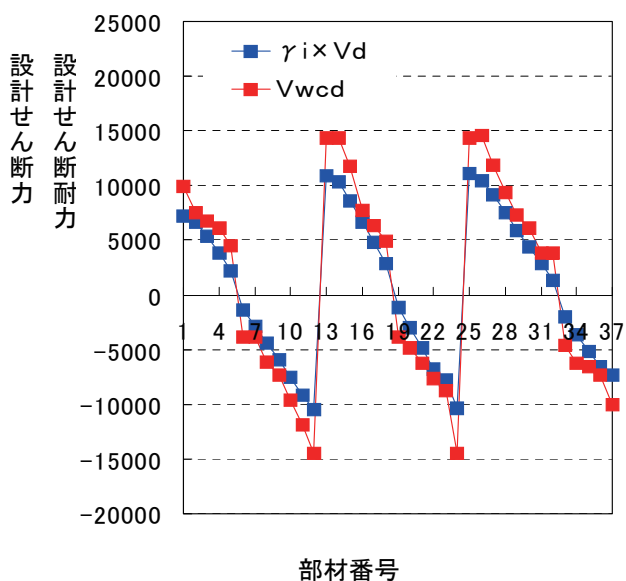


図-10 設計曲げモーメントと設計曲げ耐力

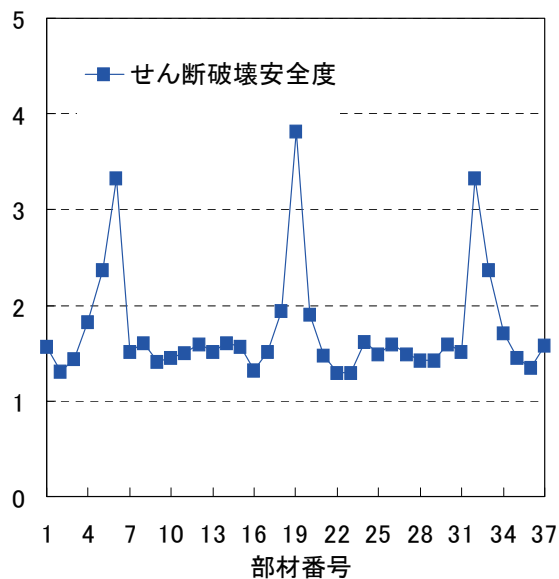


図-11 せん断破壊安全率

8. まとめ

対象橋外観からの目視情報と架設工法・当時頻繁に採用されていた材料と設計法を推測し復元設計を行った。これらの情報を基にすることで、PC鋼材量を概ね近い値で復元できると考える。使用鉄筋量においては、PC鋼材が上下縁に配置されている正曲げ作用モーメント、負曲げ作用モーメントが最大となる範囲では、PC鋼材が水平方向に配置されているため、せん断力に及ぼす影響をほぼ無視できることから必要鉄筋量・使用鉄筋量を容易に推測し復元しやすい傾向があると考えられる。しかし、PC鋼材が上縁から下縁・下縁から上縁に配置される部材領域においては、許容応力度による拘束条件のみではPC鋼材の配置は一意的には確定されない。つまり、PC鋼材が曲げ上げ・曲げ下げされ作用モーメントがほぼ0に近い範囲においては、実際の設計と復元設計との有効高さに大きな相違が生じる可能性があるため、対象橋外観からの目視情報のみでは十分に復元することは困難であると考えられる。よって、復元設計の精度を向上させるためには、PC鋼材が上縁から下縁・下縁から上縁に配置される部材領域ではPC鋼材の配置間隔と曲げ上げ角度・曲げ下げ角度等の配置状況を非破壊検査等により事前調査を行い把握する必要があると推測する。

9. おわりに

対象橋外観からの目視情報と当時頻繁に採用されていた材料と設計法を推測し、対象橋の鋼材配置を推測する復元設計手法の精度について報告を行った。コンクリート構造診断技術（社団法人プレストレストコンクリート技術協会）によると、復元設計を行う際の事前調査では、建設時の設計計算書、詳細構造図、工事記録より表-5に示す調査項目を確認する必要があると報告されているが、本研究では、表-5に示す調査項目に加え、対象橋の架設工法についても十分な調査を行う必要があることが分かった。

表-5 事前調査項目

調査項目		設計	詳細	工事記録	維持管理	確認項目
適用規準類		○	○			規準の種類、制定年度
構造緒元		○	○			支間長、断面寸法
使用材料と材料強度		○	○	○		コンクリートの設計基準強度 PC鋼材・鉄筋の種別・強度
PC鋼材配置		○	○			主要断面の有効高さ、定着位置
鉄筋配置						鉄筋径と配置位置
プレストレス量	主要断面	○		○		
	PC鋼材端部	○		○		
改築履歴 補修・補強履歴		◎	◎	◎	○	改築に伴う荷重の作用状況、 補修・補強の実施状況と効果

〔参考図書〕

- 1) 社団法人日本道路協会：コンクリート道路橋示方書・同解説I・III，平成14年
- 2) 社団法人日本道路協会：プレストレストコンクリート道路橋示方書・同解説I・III，昭和48年
- 3) 社団法人日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，1994年
- 4) 社団法人プレストレストコンクリート技術協会：コンクリート構造診断技術，2008年
- 5) 高架構造研究会：道路橋の点検補修，1978年
- 6) 社団法人プレストレストコンクリート技術協会：PC架設工法，2002年
- 7) VSL協会：プレストレストコンクリートVSL工法設計施工基準，平成15年
- 8) 土木学会：プレストレストコンクリート工法設計施工指針，コンクリートライブラリー66号，1991年
- 9) 橋田 敏之，小村 敏：PC架設工法総覧，プレストレストコンクリート技術協会監修，1984年