

I-14 PC連続合成桁（RC連結構造）の設計

日本道路公団 東京支社 特殊設計課 菅原勝広

1. まえがき

PCポストテンション連続合成桁には、支点上の連結構造により、2種類 ① PC連結構造 ② RC連結構造とがあり、PC連結構造の連続合成桁は、かなりの実績がある。最近、早期施工と省力化の面からRC連結構造の実験研究が進み、設計施工方法も確立されつつある。

本文は、日本道路公団 東京支社が、東北縦貫自動車道 荒川橋（栃木県宇都宮市）において PC連続合成桁（RC連結構造）の設計、施工を進め、昭和48年2月に完成したので、これについて報告するものである。

2. PC連続合成桁（RC連結構造）の設計一般（1点支承型）

(1) 施工順序と断面力

i) プレキャスト桁の製作、プレストレスの導入

本線上に設置した主桁製作ヤードでプレキャスト桁を製作し、プレストレスを導入する。

ii) 架設、横桁のコンクリート打設

製作したプレキャスト桁を仮支承上に架設し、横桁のコンクリートを打設し、床組構造を完成させる。

★主桁、横桁自重は、単純桁として作用する。

iii) 床版、支点上間隔横桁のコンクリート打設

床版鉄筋、支点上の連結鉄筋を配置してコンクリートを打設する。

★床版自重は、単純桁として作用する。

iv) 支点上の補助プレストレス、仮支承の撤去

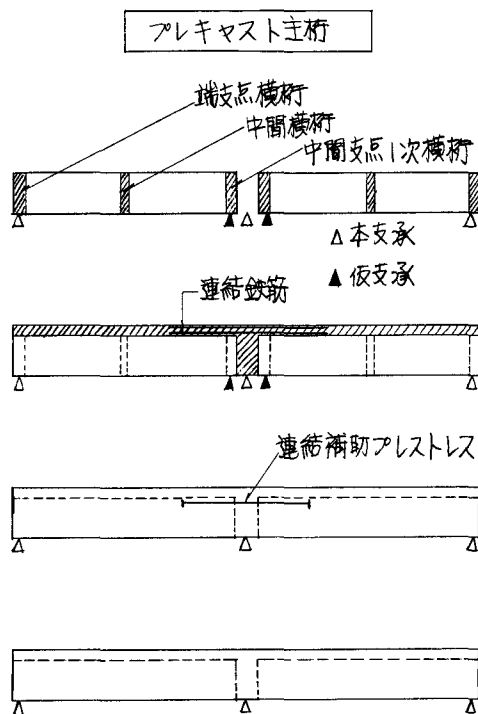
コンクリート硬化後、支点上に補助プレストレスを導入し、仮支承を撤去し本支承に載せる。

★クリーアの抱束力は、連結後、連続桁として作用する。

v) 後死荷重、活荷重の載荷

地震、高欄、舗装を施工し、供用開始する。

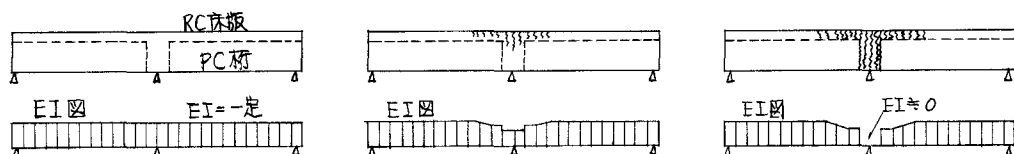
★後死荷重、活荷重は、連続桁として作用する。



(2) 断面力の再分配

支点上がRC構造のPC連続合成桁では、橋軸方向の主桁剛度が一定ではなく、設計荷重によって支点上のRC部にクラックが発生して剛度が低下するため、主桁剛度は、時間的に変化し、断面力が再分配される。すなわち、支点上の曲げモーメントは減少し、支間中央では増加して、極限において単純桁に移行する。

(a) 支点上のクラックなしの場合 (b) クラックによる剛度低下の場合 (c) 連結鉄筋が降伏に達した場合



断面力の再分配に関する解析手法には、下記の例が挙げられる。

i) 剛度低下を考慮した連続橋解析(変断面連続橋解析)

前記のE-I図の(a), (b)に於いて連続橋としての曲げモーメントを算出する。

Case - 1 剛度が一定の場合の断面力を100%とすると〔E-I図(a)〕

Case - 2. E-I図(b)の場合の断面力は、支間中央で109%, 支点上で91%となった。

従って、再分配率は、約9%と考えられる。

ii) 実験による再分配率の推定(Mattlockの実験)

Mattlockの実験報告によると、設計荷重の75%の荷重に対しては、主橋の連続性は98%, 設計荷重時の連続性は93%, 設計荷重の2倍の荷重に対しては、76%であり、荷重の増加による支点上のクラックの進行のため、主橋の連続性は次第に低下していく。

従って、再分配率は、約7%と考えられる。

iii) 剛度低下を抑制する方法

(a) 支点上固着橋の断面を大きくし、横筋のアレストレスを導入する方法

高速道路調査会「アレキストコンクリート構造研究班」の実験報告によれば、支点上固着橋の断面を大きくし、横筋のアレストレスを導入すると、設計荷重時では弾性領域にあり、設計荷重の1.5倍以上から塑性領域になっている。

従って、再分配率は0と考え得る。

(b) 支点上に補助アレストレスを導入する方法

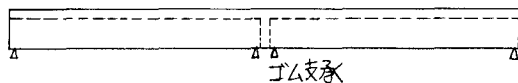
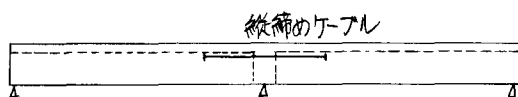
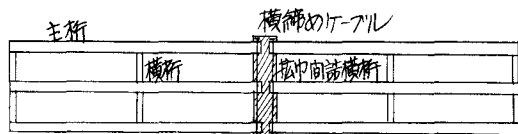
支上に補助の横筋のアレストレスを導入し、ひび割れ荷重を増加させると、剛度低下を減少させることが可能になる。

従って、再分配率は、約0~5%と考えられる。

iv) 断面力の再分配を無視する場合

中間支点をゴム系の2点支承とし、支間中央は単純橋、支点上は連続橋としての断面力を用いて設計する方法で、前記高速道路調査会の2点支承型をいう。

従って、再分配率は、0である。



以上の考察より、本設計では、i), ii), iii)の(b)を併用し、断面力の再分配率は、支間中央の連結後荷重(後死荷重、冠荷重)による断面力に対して10%, 支点上の断面力に対しては安全のため0%とした。

③ クリープ係数

支点上の連結後、クリープ変形によって比較的大きな拘束モーメントが発生する。このクリープ変形には下記の変動係数が考えられる。

(a) コンクリートの品質、配合、養生環境、部材の寸法によって、クリープ係数は、 $\varphi = 1.50 \sim 2.50$ (すなわち、67%の変動中)、 $(1 - e^{-\varphi}) = 0.78 \sim 0.92$ (すなわち、18%の変動中)となる。

(b) 示す書は、材令によるクリープの進行度に $\pm 30\%$ の変動中を与えている。

(c) 設計計算で仮定した連結時のPC橋の材令と実作業との差、連結される主橋間の材令差。

以上の考察より、設計計算に用いるクリープ係数には、 $\pm 30\%$ の変動中を考慮し、各断面に於いて危険側で設計した。

また、クリープ変形による拘束モーメントは、一般に支間中央では不利に作用するが、支点上では有利になるため、主ケーブル配置の調整によって合理的な設計が可能となる。

3 荒川橋の設計

(1) 設計条件

構造型式 PC4径間連続合成桁 (RC連結構造)

橋長巾員 $l = 135.400 \text{ m}$ $b = 2 \times 10.000 \text{ m}$

支間割 $33.560 + 2 @ 33.630 + 33.560 \text{ m}$

設計荷重 TL-20 (1等橋)

設計震度 $k_h = 0.20$

(2) 設計曲げモーメント (t・m)

荷 重		支 間 中 央	支 点 上	摘 要
主桁、横桁、床版の自重		575.7	0	
橋面後死荷重		62.0*	-93.4	*再分配率10%
活荷重	max	239.0*	30.0	* "
	min	-55.3	-210.0	
拘束モーメント	$\varphi + 30\%$	62.5	124.9	
	$\varphi - 30\%$	41.4	82.8	
合 計		939.2 ~ 623.5	61.5 ~ -220.0	

(3) 主桁のケーブル

曲げモーメントの集計表より、支間中央の設計最大曲げモーメントは、 $M = 939.2 \text{ t・m}$ であるが、単純桁として計算した場合の設計曲げモーメントは、 $M_0 = 945.0 \text{ t・m}$ となり、PC連続合成桁 (RC連結構造) の主桁には、単純桁とほぼ同量のPC鋼材を要した。

また、クリープ変形による正の曲げモーメントが大きくなると、支点上の下縁引張鉄筋が増加し、逆に小さくすると床版中の連結鉄筋が増加する。しかし、支点上の上下縁鉄筋は、配置スペースが限定されるため、主ケーブルの配置の調整が必要である。

(4) 支点上のRC連結部の設計

(a) 正の曲げモーメントに対しては

- i) ポステン桁の下縁から鉄筋を出して抵抗する方法
- ii) 主ケーブル配置を調整して、正の曲げモーメントを打消す方法
- iii) 横桁と主桁を横断めケーブルで締結し、摩擦力によって横桁で抵抗する方法
- iv) 支点上に補助プレストレスを導入して、下縁引張応力を打消す方法

等が考えられ、本設計では、i)とii)を併用し、安全のためiv)も用いた。鉄筋の支点上での継手は、丸フック、直角フック、重ね継手の3案で実験し、ストレート筋の重ね継手とした。(D25 6本)

(b) 負の曲げモーメントに対して

連結後の荷重による負の曲げモーメントに対しては、活荷重のくり返し応力による疲労を考慮して鉄筋の許容応力度 (SD30) を $\sigma_{sa} = 1.600 \text{ kg/cm}^2$ とし、RC構造で鉄筋量 (A_{s1}) を算出した。この他に床版の補助方向配筋 (A_{s2})、中間横桁上の補強筋 (A_{s3}) をそれぞれ算出し、総鉄筋量 $A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}$ を D22 に換算して配置した。(D22- ϕ 150、2段)

(c) 打継目の剪断力に対して

ポステン桁と同語横桁の打継目に大きな剪断力が作用するので、主桁から補強筋 (A_{s1}) を出して抵抗させた。計算上の必要鉄筋量は、 $A_s = A_{s1} + \text{ジベル筋に囲まれた床版筋} (A_{s2}) + \text{主桁下縁鉄筋} (A_{s3})$ である。

(4) 打継目の処理について

ポステン橋と同様の橋桁との打継目は、本型式における構造上の最大の弱点と考えられる。特に、曲げ応力、剪断応力がくり返し作用するため、長期間の疲労強度、耐久性の低下の問題があり、下記の様な対策方法が考えられた。

- i) 主桁から補強鉄筋を出して、目地の開きを抑制する方法
- ii) 支点上に補助プレストレスを導入して、目地の開きを抑える方法
- iii) 主桁と横桁を一体にし、横締めケーブルを配置して、横桁で抵抗させる方法
- iv) 膨張セメントを使用して、乾燥収縮による打継目の開きを防ぐ方法（試算では、効果がない。）
- v) 接着剤を使用する方法（強度上は十分有効である。）

本設計では、i)とii)を併用している。

(4) 問題点

表川橋の設計に関して、工事の早期施工、省力化を念頭において本型式を採用したが、必ずしも当初の目的が達成されたとは言えない。その理由を下記に示す。

i) 支点上の補助プレストレスの採用

構造系全体の安全度を高めるために支点上の補助プレストレス（主桁断面に約10%の圧縮応力）を導入したが、省力化の面からはマイナスである。

ii) 1点支承型の採用

2点支承型を用いると、反力があまる恐れはあるが、1点支承型よりも施工上は有利である。

iii) 中間支点1次横桁の採用

床版コンクリートの打設完了までの施工中の安全を考えて、中間支点1次横桁と同様の横桁とに分けたが、橋脚上の狭い空間での作業は、非常に手間がかかる。

iv) 打継目の強度

本設計は1点支承型であるので、主桁と同様の横桁の打継目が弱点となってはならない。このため、中間支点上の同様の横桁には多くの鉄筋が配置されるので、支承の据え付け、コンクリート打設、型枠の着脱等の作業が困難になっている。

4. あとがき

PC連続合成桁（RC連結構造）1点支承型の設計上の問題点は、次の3つにまとめられる。

- (1) RC連結部の剛度低下による断面力の再分配の問題
- (2) 主桁と同様の横桁の打継目の耐久性、疲労強度の低下の問題
- (3) 連続桁の各部分が保有する安全率の分布の問題

連続桁では、1箇所でも弱点があるとその部分の安全率が構造系全体の安全率を支配する。PC連続合成桁の場合のそれは、支点上のRC連結部であるから、必ず、支点上に補助プレストレスを導入すべきである。

最近、高強度コンクリート（例えば $\sigma_{ck} = 600 \text{ kg/cm}^2$ 以上）の実用化、床版のアレキاست化、PC工場製品の利用等の研究、実験が進み、早期施工、省力化の努力がなされ、PC連続合成桁の利用も今後増加すると思われる。

本文は、1点支承型の設計例で示したが、高速道路調査会のゴム系支承を用いた2点支承型も是非参考にし、今後の設計に活用されることが必要と思われる。