

連続合成桁中間支点部のひび割れ対策に関する一考察

(株)復建エンジニアリング 正会員 松山 剛 正会員 井口 光雄
 日本鉄道建設公団 正会員 保坂 鐵矢 正会員 鈴木 喜弥

1. 概要

連続合成桁の設計を行う場合、中間支点部付近の負曲げモーメントに対するコンクリートスラブのひび割れ対策が重要となる。一般には負曲げの影響を低減する方法として、支点部の上昇・下降やプレストレスを導入する方法を用いることが多いが、設計計算や架設方法が非常に煩雑となるため、鉄道橋での実橋への適用事例は少ない。本検討では図1に示す鉄道長大橋梁を検討対象とし、各設計基準に準じて行ったひび割れ検討結果の事例を紹介するとともに、その結果に対して一考察を行ったものである。

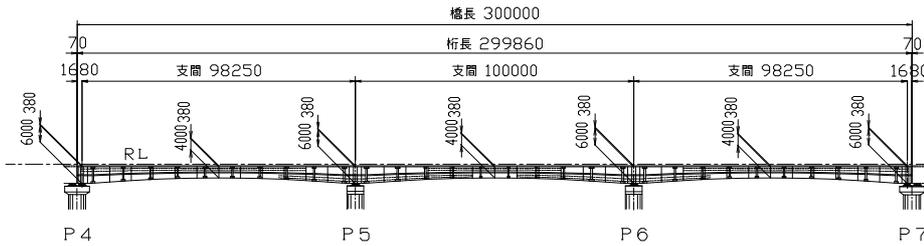


図1 橋梁全体図

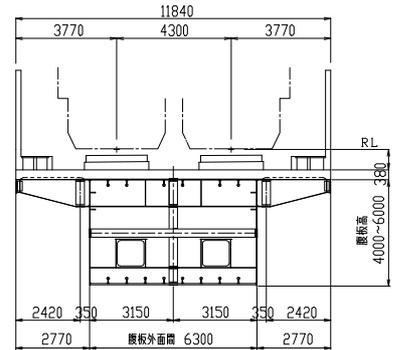


図2 主桁標準断面

2. 対象橋梁の概要

検討対象としている橋梁はP4橋脚からP7橋脚までの4支点で支持される3径間連続合成桁である。橋長は300m、支間長が98.25m + 100.00m + 98.25mであり、主桁は1ボックスの箱桁形式である。(図2参照)この規模の橋りょうではトラス橋を用いた方が経済的にも有利であることが多いが、当該地区は豪雪地帯であるため列車走行上の雪害対策から上路形式の合成桁を採用している。

鋼桁とコンクリートスラブとの接合は、正曲げ区間については馬蹄形ジベル、負曲げ区間については孔あき鋼板ジベルを用いており、全区間に鋼桁とコンクリートの合成作用を考慮した完全合成桁橋梁とした。また、支点部の桁高は6mとしているが、支間中央部では連続桁の特性をいかして桁高を4mまで変化させており、視覚的にもスレンダーな印象を得られる様配慮した構造としている。

3. 断面力算出

中間支点部付近の負曲げモーメントの算出は、合成後死荷重及び活荷重により

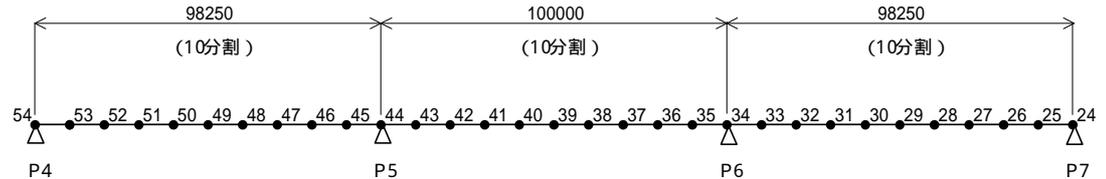


図3 解析モデル図

発生する断面力について、及び乾燥収縮・クリープによるたわみを中間支点部で拘束することにより発生する不静定力について考慮した。断面力算出時の主桁剛性については、正曲げ・負曲げ両区間とも鋼とコンクリートとの合成作用を考慮し、平面骨組モデル(図3参照)を用いて解析を行った。活荷重は列車荷重及び列車荷重衝撃それぞれ複線分を見込んでおり、載荷方法は単位荷重を移動させて列車荷重の影響線を作成し、これにP-16連行荷重を載荷して最大、最小断面力を算出した。不静定力の算出においては、乾燥収縮及びクリープの弾性荷重を算定し、共役梁理論により得られたたわみ値を強制変位で入力することにより求めた。表1に荷重種類と部材剛性について、また、図4に解析結果における曲げモーメント図を示す。

表1 荷重種類と部材剛性

荷重種類	部材剛性	
	コンクリートとの合成作用	鋼とコンクリートとのヤング係数比
1 合成後死荷重	考慮する。	21
2 活荷重	考慮する。	7
3 不静定力	考慮する。	7

4. 各設計基準によるひび割れ検討

解析の結果、負曲げの影響が最大となるのはP5支点上であり、最大で34,200tfm程度の値であった。表2

キーワード：ひび割れ幅、鉄筋比、周長率、鉄筋応力度、プレストレスしない連続合成桁、ハンスピルの理論

連絡先：(株)復建エンジニアリング 〒104-0061 東京都中央区銀座1-2-1 TEL 03-3563-3129 FAX 03-3563-3127

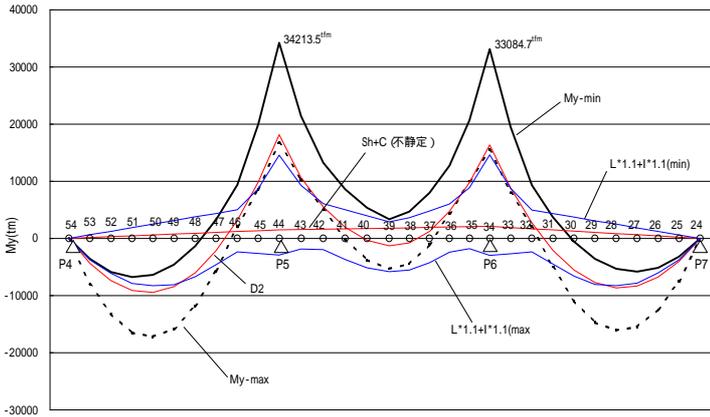


図4 曲げモーメント図

表2 ひび割れ検討結果一覧表

鉄筋量	上側鉄筋量	D22 @ 125
	下側鉄筋量	D22 @ 125
鉄筋比	As (cm ²)	727.75
	P	0.0205
作用曲げモーメント	合成後死荷重 Md2 (t・m)	18133.48
	活荷重 ML*1.1 + MI*1.1 (t・m)	14582.19
	不静定力 Msh + Mc (t・m)	1497.88
	M (t・m) {Md2 + ML*1.1 + MI*1.1 + Msh + Mc}	34213.55
鉄筋応力度	上鉄筋位置での発生応力 (kgf/cm ²)	722.7
	"	581.2
	"	59.7
	"	1363.6
ひび割れ幅の照査	ひび割れ幅 (cm)	0.027
	許容ひび割れ幅 (cm)	0.028
道路橋示方書による照査	w/wa	0.964
	床版の断面積 (cm ²)	35520
	鉄筋比 : 2%以上 (%)	2.05
ハンスビルの式による照査	周長率 : 0.045cm/cm ² 以上 (cm/cm ²)	0.037
	限界直径 (mm)	23.68 > 22
橋建協設計要領案による照査	最大間隔 (cm)	20 > 12.5
	許容ひび割れ幅 (cm)	0.020
	初期ひび割れ時の鉄筋応力度 (kgf/cm ²)	1132
	完全ひび割れ時の鉄筋応力度 (kgf/cm ²)	1781
	許容応力度 (kgf/cm ²)	1800

には今回実施した ひび割れ幅の照査、道路橋示方書による照査、ハンスビルの式による照査、橋建協設計要領（案）による照査の検討結果一覧を示している。尚、スラブ内の引張り鉄筋はD22@125、かぶり60mm、スラブ有効高300mmとしている。

ひび割れ幅の照査について

ひび割れ幅w及びひび割れ幅の制限値waは、鉄道構造物等設計標準（コンクリート編）に示されている以下の式(1)及び(2)により算出し、制限値以内となることが確認できた。尚、ここでは制限値算出時の環境を腐食性環境とした。

$$\text{ひび割れ幅} : w = \{4c + 0.7(cs -)\} \times \{ se/Es + 'r \} \quad (1)$$

$$\text{ひび割れ幅の制限値} : wa = 0.004c \quad (2)$$

道路橋示方書による照査について

道路橋示方書では引張り応力を受けるコンクリート床版において、最小鉄筋量2%以上、及び周長率0.045cm/cm²以上との構造細目を定めている。本検討結果では最小鉄筋量は満足するものの周長率については満足しない結果となった。

ハンスビルの式による照査

ユーロコード：DIN1045に基づき、引張り鉄筋に作用する応力から鉄筋の限界直径、鉄筋の最大間隔について定められた規程について照査を行う。本検討結果では限界直径、最大間隔とも応力に応じた規定値を満足する結果となった。

橋建協設計要領（案）による照査

基本的な照査概念はハンスビルの式と同様であるが、初期ひび割れ状態、完全ひび割れ状態における鉄筋応力度が、“ひび割れ位置における許容応力度”以内となるよう照査を行っている。本検討結果では初期ひび割れ状態、完全ひび割れ状態とも満足する結果となった。尚、“ひび割れ位置における許容応力度”とはひび割れ位置での局所的な応力であり、断面計算における鉄筋応力度とは異なる。

5. 考察およびまとめ

以上に示す通り、ひび割れ検討結果は道路橋示方書の周長率の規程を除いて全て満足することが確認できた。周長率については、昭和40年頃に行われた実験結果を基に定められた規程であり、現在の厚い床版が主流である構造形式とは異なると想定できるため、本橋梁においては照査項目から除外しても問題ないと判断している。但し、負曲げが発生する区間については高繊維補強コンクリートを使用することで安全性を高めることが有効である。

本検討結果から、引張り鉄筋の配置が構造細目を満足しており、且つ断面計算における鉄筋応力度を1400kg/cm²程度に抑えれば各照査式を満足する傾向にあることが確認できた。また、鋼桁の板厚を上げ全体剛度を増すことで鉄筋応力度を下げるのに有効となることも確認できた。しかし、連続合成桁の中間支座位断面は主桁照査で決定するのではなく、ひび割れ制限により決定することが多く、むやみに鋼重を多くすることは不経済な設計になることも事実である。今後も適用支間の限界や鋼桁とコンクリートの有効な接続方法など、更なる検討が必要であると考えている。

参考文献：1)道路橋示方書、2)鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造、鋼合成構造）3) プレキャストしない連続合成桁の静的実験「土木学会誌10号」、4)PC床版を有すプレキャストしない連続合成桁設計要領（案）橋梁建設協会