

(34) チャンネル形状プレキャストPC床版の設計曲げモーメント式に関する一考察

(株) 富士ピー・エス 正会員 真鍋 英規
 (株) 富士ピー・エス 正会員 ○ 林 功治
 (株) 富士ピー・エス 正会員 鈴木 真
 大阪大学 工学部 松井 繁之

1. はじめに

プレキャストPC床版は、現場施工の省力化および床版耐久性の向上を目的とし、鋼橋の床版工法に用いられている。従来のプレキャストPC床版は場所打ちRC床版形状に近似したタイプのものが一般的であるが、床版の力学的特性の改善、現場施工性の改善、鋼桁製作への影響等を考慮しチャンネル形状のプレキャストPC床版が考案され、各種確認実験〔1〕を経て実施工が行われている。写真-1に施工例を示す。チャンネル形状版は、その断面形状に起因して活荷重曲げモーメントの分布がRC床版形状のものとは異なり、道路橋示方書の床版設計曲げモーメント式をそのまま適用することはできない。本研究では、チャンネル形状版の活荷重に対する力学的特性を解明する目的から、有限要素法解析を行った。解析は、鋼橋の合理化工法として現在注目されている少数主桁を対象とし、単純床版支間モデルを用いた。本解析結果から設計曲げモーメント式を提案し、その妥当性について検討を行った。

2. チャンネル形状プレキャストPC床版の特徴

チャンネル形状プレキャストPC床版（以下チャンネル形状版と称す。）は、床版断面の両端にリブ構造を有するチャンネル形状のプレキャスト床版であるが、床版断面形状が橋軸方向に変化することによって、活荷重による曲げモーメント分布は、従来のRC床版ハンチ形状版）とは異なったものとなる。また、従来のプレキャスト床版と比べ鋼桁との面タッチ長が少ないことから、次に示すメリットを有している〔2〕。

- ①縦締めプレストレス導入時の抵抗が少ない。
- ②鋼桁と床版の連結部の施工が減少する。
- ③プレキャスト床版の適用に対して鋼桁への要求項目が少ない。

図-1に床版形状の比較を示す。

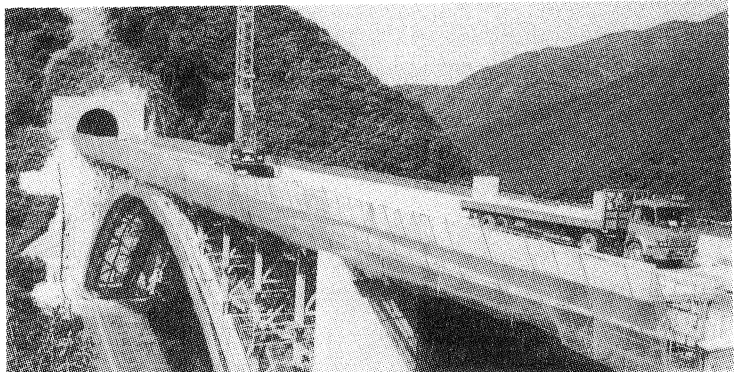


写真-1 チャンネル形状版の施工

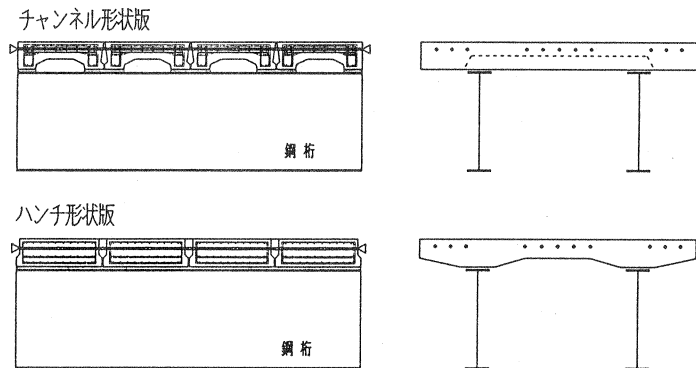


図-1 プレキャスト床版形状の比較

3. 解析概要

解析は、2主鋼桁で支持された単純床版をモデル化し、平面有限要素法解析を行った。荷重は道路橋示方書に準拠しB活荷重のT荷重片側荷重(P=10tf)を載荷面積200×500mmの長方形等分布荷重として用いた。床版は張り出し床版部を設けず中床版部のみとし、T荷重の占有幅(1750mm)と隣接する車両間隔(500×2=1000mm)を考慮し、可能なかぎりの荷重の組み合わせを各床版支間に載荷し、断面に最大曲げを発生させる載荷位置を検討した。床版支間は2m、3m、4m、5m、6mの5ケースとした。チャンネル形状版は床版厚が厚いリブ部へ輪荷重を載荷する場合と、床版厚が薄い床版部へ載荷する場合では、発生する曲げモーメントが異なるため、輪荷重の載荷位置はリブ部と床版部の2種類について解析を行った。橋軸方向の支間は、床版発生モーメントに影響を及ぼさない無限版として扱えるよう、床版支間の4倍の長さとした。床版と鋼桁はリブ部での結合とし、床版支間方向は回転は拘束せず、橋軸方向方向は回転を拘束した。

4. 結果と考察

4.1 チャンネル形状版の曲げモーメント分布

1) 床版支間方向曲げモーメント M_x

図-2に床版支間6m、床版部載荷の場合の床版支間方向曲げモーメント M_x の橋軸方向の分布を示す。

図-3に床版支間6m、リブ部載荷の場合の床版支間方向曲げモーメント M_x の橋軸方向の分布を示す。

床版支間方向曲げモーメント M_x の分布形状は支間2m~6mにおいて概ね図-2、図-3に示す傾向であり、代表例として床版支間6mの図を掲載した。

床版部載荷の場合、床版支間方向の曲げモーメント M_x は載荷点直下の床版部で最大値を示しておらず、プレキャスト床版両端のリブ部で最大値を示しており、隣接する次のプレキャスト床版のリブ部にも床版部より大きな曲げが発生していることが解る。これは、床版部とリブ部の曲げ剛性の違いによるものと推察できる。剛性一定の在来の床版では、曲げモーメント M_x は載荷点直下でピーク値を示し、橋軸方向に載荷点から距離が遠ざかるに従って収束するが、曲げモーメント分布範囲は在来床版よりチャンネル形状版のほうが広範囲に分布することになる。

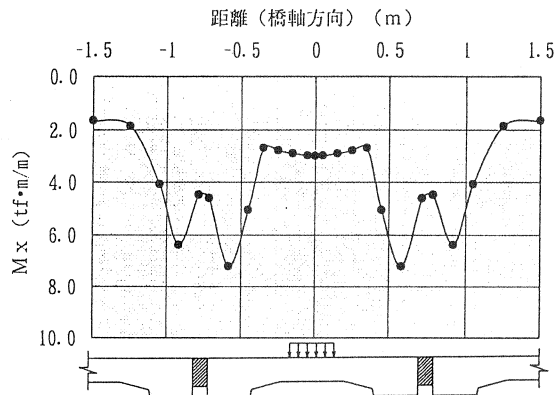


図-2 M_x の橋軸方向分布(支間6m、床版部載荷)

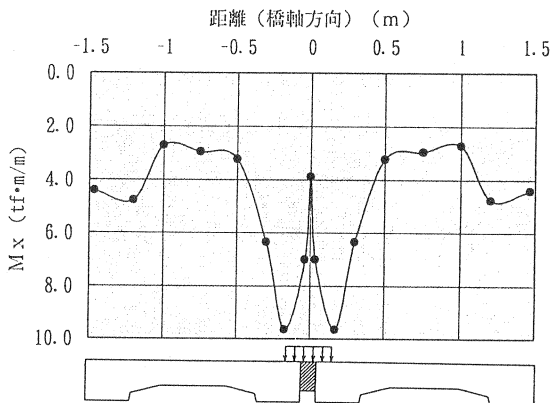


図-3 M_x の橋軸方向分布(支間6m、リブ部載荷)

リブ部載荷の場合は、載荷点であるリブ部において床版支間方向曲げモーメント M_x は最大値を示し、その値は床版部載荷の最大値より大きい。床版部に発生する M_x は床版部載荷の場合とほぼ同程度の値となっている。また、載荷されているリブと反対側のリブにおいても、床版部よりも大きな曲げモーメントの値となっている。

床版単体における曲げ実験では、床版幅1.5mが全幅・全断面有効なはりとして挙動を示すことが確認されているが[1]、床版支間方向の設計では、床版全断面有効とした応力検討の他に、床版部、リブ部の各部位の分布モーメントに対して

応力検討も必要になると考えられる。

2) 橋軸方向曲げモーメント M_y

橋軸方向の曲げモーメント M_y に対して、曲げ伝達は床版部の断面が支配的であり、リブ部下縁ではその断面剛性に相応する曲げ応力は発生しないことが、チャンネル形状版の連続版曲げ実験の結果 [2] において報告されている。これは、床版部とプレキャスト床版間の目地部（無収縮モルタル充填施工）の高さが同じであり、リブ部が橋軸方向に連続的に形成されていないことに起因すると考えられるが、本解析ではこの実験結果を踏まえて、橋軸方向の断面剛性を床版部の剛性 D_{ys} 一定とし解析を行った。

橋軸方向曲げモーメント M_y の橋軸方向の分布は、在来の床版と同様、載荷点直下で最大値を示し載荷点から橋軸方向に距離が遠ざかるに従って収束する分布形状を示した。

4.2 チャンネル形状版の設計曲げモーメント式

有限要素法解析で得られた各載荷ケースで最大曲げを示す位置において、各曲げ方向に直角方向の曲げモーメント分布 $f_m(x)$ を抽出し、 M_x はプレキャスト床版幅 1.5m、 M_y は 1m 幅に対して $f_m(x)$ の積分を行い、積分値が最大となるケース（単位幅 1m 当たり）を各支間の代表値 $M_{x(L)}$ 、 $M_{y(L)}$ とした。 $M_{x(L)}$ と $M_{y(L)}$ と床版支間 L に対する関係を図-4（床版支間方向曲げモーメント）、図-5（橋軸方向曲げモーメント）に示す。 $M_{x(L)}$ 、 $M_{y(L)}$ を最小二乗法による直線近似を行い、床版支間 L に関する一次式で表すと

$$M_{x(L)} = (0.077 L + 0.080) P \quad (\text{tfm/m}) \quad \text{----- (式1)}$$

$$M_{y(L)} = (0.061 L + 0.064) P \quad (\text{tfm/m}) \quad \text{----- (式2)}$$

ここに、 P : T 荷重の片側荷重 (=10tf)

道示 II (6.1.4) における設計曲げモーメント式は

$$\text{主鉄筋方向の曲げモーメント} \quad M_x = (0.12 L + 0.07) P \quad (\text{tfm/m}) \quad \text{----- (式3)}$$

$$\text{配力鉄筋方向の曲げモーメント} \quad M_y = (0.10 L + 0.04) P \quad (\text{tfm/m}) \quad \text{----- (式4)}$$

道示式に比較してチャンネル形状版の提案式は小さい設計曲げを示すことになるが、これは、

①道示式には施工上の不確定要素を考慮して 10~20% 程度の余裕量を見込んでいる。

②道示 M_x 式は、大型車走行台数を考慮して支間に対する割り増し係数が乗じられている。

上記①、②の要素を除いた曲げモーメントを図中の修正道示式として表した。なお、①の要因は一律 20% を減じた。修正道示式とチャンネル形状版の発生曲げを比較してみると、 M_x 、 M_y ともチャンネル形状版の方が小さくなっており、設計計算上の優位性が見いだせる。チャンネル形状版の曲げモーメント式に対しても余裕量を見込み設計曲げモーメント式とする必要があるが、その値については今後検討を行いたい。

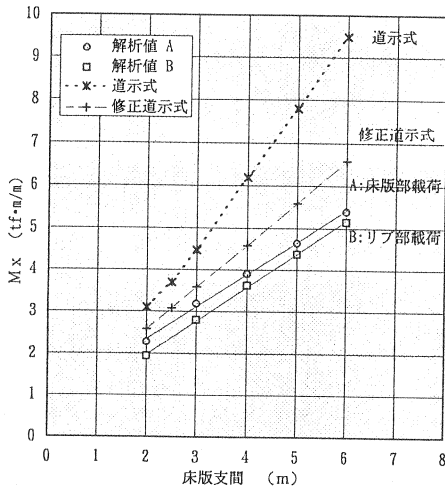


図-4 設計曲げモーメント式 M_x の比較

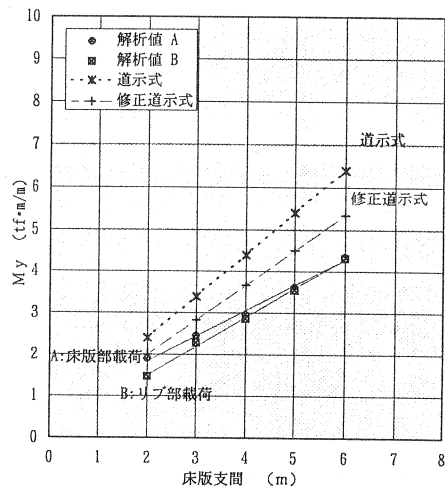


図-5 設計曲げモーメント式 M_y の比較

表-1 プレキャスト床版の合成応力度

床版厚 (cm)	単位重量 (tf/m ²)	活荷重 M (kgf·cm)	曲げ応力度 (kgf/cm ²)		PC鋼材 (本/m)	7°レ応力度 (kgf/cm ²)		合成応力度 (kgf/cm ²)	
			上縁	下縁		上縁	下縁	上縁	下縁
ハンチ形状版 (床版幅100cmで設計) ※PC鋼材種類は1T15.2mmB種									
30	0.75	1019100	90.44	-90.44	17	74.80	95.20	165.24	4.76
31	0.78	1019100	85.40	-85.40	16	67.98	86.86	153.38	1.46
32	0.80	1019100	80.81	-80.81	16	65.72	84.28	146.53	3.47
チャンネル形状版 (床版幅150cmで設計) ※PC鋼材種類は1T15.2mmB種									
31-21	0.61	1258500	92.07	-123.13	16	75.06	128.33	167.13	5.20
32-22	0.64	1258500	86.94	-115.43	15	67.45	115.99	154.39	0.56
33-23	0.66	1258500	82.25	-108.44	15	66.39	109.81	148.64	1.97

5. チャンネル形状版の断面設計

チャンネル形状版の断面設計は、床版支間方向ではチャンネル形状断面を床版幅 1.5m 全断面有効として応力検討を行う他、床版部に分布する曲げに対し床版部断面を抵抗断面とし、また、リブ部に分布する曲げに対しリブ部断面を抵抗断面としPC鋼材の配置を決定することが好ましいと考える。また、橋軸方向は床版厚の薄い床版部断面に着目して設計を行なえば良いと考える。

支間 6m の場合のチャンネル版とハンチ版の床版支間方向断面の設計を行った結果を表-1 に示す。チャンネル版の設計曲げモーメント式には道示式と同様に、施工上の余裕量を 20%を見込み、また、支間に対する割り増し係数を乗じた。ハンチ形状版は道示式を用いた。負の曲げモーメントは正の曲げモーメントの 80%を考慮し、フルプレストレスの設計を行った。道示による最小床版厚は単純版のPC床版では、 $t_{min} = (4L+11) \times 0.9$ としており、支間 6m では最小床版厚 $t_{min} = 31.5\text{cm}$ となるが、計算結果によれば、ハンチ形状版では床版厚 30cm 以上で許容値を満足し、チャンネル形状版では床版部 21cm リブ部 31cm の形状以上で許容値を満足する結果となった。単位面積 1 m² 当たりの重量では、チャンネル版はハンチ版の約 80%の重量となり、橋梁全体の設計として有利となる。また、1m 幅当たりのPC鋼材使用量もチャンネル形状版のほうが僅かながら少なくなる。

6. まとめ

チャンネル形状版の活荷重曲げモーメントに関するFEM解析を行った結果から次に示す見知が得られた。

1. チャンネル形状版の床版支間方向曲げモーメント M_x の橋軸方向の分布は、床版部載荷の場合、従来のハンチ形状版に比べ広範囲に分布する。
2. チャンネル形状版の床版支間方向曲げモーメント M_x は、床版部とリブ部では曲げの大きさが異なり、リブ部での負担が大きくなるため、床版断面の設計では全断面有効とした応力度の検討の他、各部位に着目する必要がある。
3. チャンネル形状版の解析により求めた曲げモーメント提案式は、道示式から余裕量と割り増し係数を除いた式と比較して、同支間で小さい値をとり、設計計算上の優位性が見いだせる。
4. チャンネル形状版の断面設計の試算(支間 6m)では、従来のハンチ形状版と比較して、断面の重量を約 80%に低減できる結果を得た。

今後、連続版に関する解析および設計曲げモーメント式へ付加する余裕量の検討を行い、チャンネル形状版の最終的な設計曲げモーメント式を提案するとともに、合理的な設計手法を導き出したい。

【参考文献】

- [1] 関西国際空港線末広高架橋(鋼上部工)工事PC7°キャスト床版実験報告書、日本道路公団大阪建局、1993.5
- [2] 真鍋 英規、寺田 光太郎、曾田 信雄、伊藤 正人：チャンネル形状プレキャストPC床版の鋼橋への適用、第4回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp171~176、1994.10
- [3] 前田 幸雄、松井繁之：道路橋RC床版の設計曲げモーメント式に関する一考察、土木学会論文報告集第252号、pp11~21、1976.8