

道路橋RC床版の設計曲げモーメントについて

北海道開発コンサルタント(株) 正員 青木 弘
 “ “ “ 金沢 義輝
 “ “ “ 〇外山 義春

1. まえがき

道路橋鉄筋コンクリート床版(以下RC床版と略称)の設計方法は、道路橋示方書の変遷にともない逐次改訂されてきた。特に現示方書(昭和48年2月)は、旧示方書(昭和39年6月)によるRC床版の相次ぐ破損により大幅な改訂が行われたことは、周知の通りである。しかし、この改訂においても連続版の設計曲げモーメント式は、“弾性多主桁上の道路橋床版”という実態を十分に考慮しているものとは考えられない。また、これらRC床版曲げモーメントに関する研究もいくつか報告されている。^{(1),(2),(3)} 本報告は、床版と弾性桁を、“平板曲げ要素”、“格子部材要素”とからなる複合構造物として有限要素法により、“床版の支向方向が車両進行方向に直角の場合”における連続版の曲げモーメントを解析し、現行示方書の床版設計曲げモーメントの値と比較し、考察したものである。尚、連続版の解析と同時に本解析の精度を比較するため、理論値が明らかな単純版についても解析を行なったので合わせて報告する。

2. 複合構造物の有限要素法(F.E.M)解析

F.E.M.は、解析の対象が複雑な場合における構造の、最も有力な数値解析方法として発達してきたが、この発達の一因として、異なる要素の混合使用が容易であることが掲げられる。例えば、i)平面応力問題、平板曲げ問題における三角形要素と四角形要素の使用、ii)平面応力要素と平面トラス部材要素の使用、iii)平板曲げ要素と格子部材要素の使用、等である。本解析は、上記3例のうちiii)によるものである。尚、これら種類の異なる要素を組み合わせる際の必要条件是、各要素の節点における自由度が等しいことであり、要素の節点数ではない。

2-1 有限要素 (図-1)

(1)平板曲げ長方形要素

角に4節点(i, j, k, l)をもつ平板曲げ要素で、各節点における節点変位(自由度)は、次の3方向である。U₃: Z軸方向変位(たわみ)、U₄: X軸まわりの回転(ねじり角)、U₅: Y軸まわりの回転(たわみ角)。尚、要素剛性マトリックスは、U₃の変位関数(式-1)を用いて計算される。(a₁~a₁₂=定数)

$$U_3 = a_1 + a_2X + a_3Y + a_4XY + a_5X^2 + a_6Y^2 + a_7X^3 + a_8Y^3 + a_9X^2Y + a_{10}Y^2X + a_{11}X^3Y + a_{12}XY^3 \text{ ----- (式-1)}$$

(2)格子部材要素

桁の両端に節点(i, j)をもつ骨組要素で、各節点における変位(自由度)は、平板曲げ要素と同様に、U₃, U₄, U₅である。尚、これら(1), (2)の詳細については、参考文献(4), (5), (7)にゆずる。

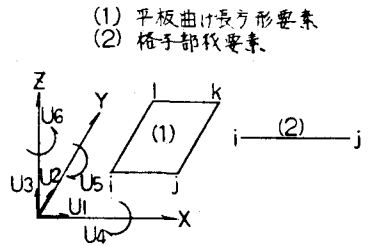


図-1 有限要素

3. 単純版曲げモーメント (M_{x0}, M_{y0})

現示方書における単純版、連続版の設計曲げモーメントの提示式は、一方向算用性単純版の理論値を基にし、安全を見込んだ近似式である。連続版の解析に先だち、RC床版解析の基本である単純版の曲げモーメントと、有限要素法の平板曲げ要素により解析し、理論値と比較するものとした。

3-1 解析条件

○床版支間；短支間Bは、示方書の設計曲げモーメントの適用支間範囲が、 $0 < B \leq 4^m$ であるので、 $B = 2, 3, 4^m$ の3ケースとした。長支間Lは、 $L = 5 \cdot B$ とした。この辺長比による場合、無限単純版の最大曲げモーメントとの間に差異は、ほとんど生じないものと考えられる。¹⁾

○床版厚；床版厚hは、示方書の理論値解析に用いられた次式によった。 $h = 3 \cdot B + 11$

○輪荷重の分布；輪荷重の分布は、示方書に従い、厚さ5cmのアスファルト舗装を通して、床版全厚の1/2の面まで45度の角度で、長方形等分布するものとした。(図-3)

○荷重載荷方法；示方書におけるT荷重の載荷規定に従って、輪荷重間隔を、1.0^m、1.75^mとし、各支間に対して可能な輪荷重を、1/2の位置に載荷して最大曲げモーメントを求めた。(図-4)尚、前輪の影響は小さいため無視した。¹⁾

○衝撃；示方書における設計値が衝撃を含むことより、次式の衝撃係数*k*を考慮した。 $k = 20 / (50 + B)$

○支持条件、要素数；4辺単純支持、最大要素数260

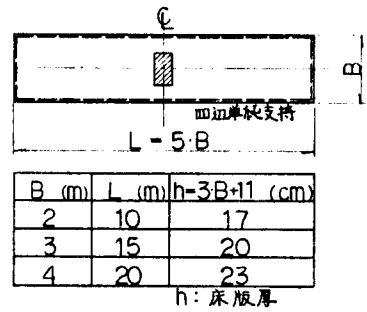
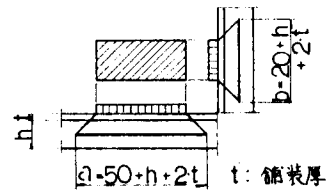


図-2 単純版



B (m)	a × b (m·m)
2	0.77 × 0.47
3	0.80 × 0.50
4	0.83 × 0.53

図-3 輪荷重分布幅

3-2 解析結果

M_{20} ；主鉄筋方向の曲げモーメント、 M_{40} ；配力鉄筋方向の曲げモーメント、 M_{20}/M_{40} の各解析結果を、(図-5-1)、(図-5-2)には、各支間Bに対する M_{20} 、 M_{40} と、示方書による理論値、設計値を示し、(図-6)には、各支間Bに対する M_{20}/M_{40} と理論値を示した。これらの結果から次のことが考察できる。 M_{20} 、 M_{40} に対する解析結果は、理論値とおよそ一致し、その誤差は、±7%程度の範囲である。 M_{20}/M_{40} に関しては、床版支間が大きくなるにつれ誤差が大きくなる傾向があるが、その値は±6%程度である。したがって、本解析は、精度的にかなり高いものと考えられる。

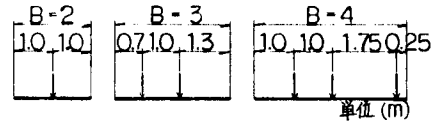


図-4 輪荷重載荷位置

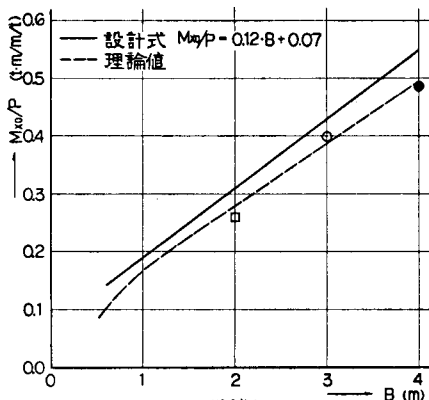


図-5-1 単純版 M_{20}

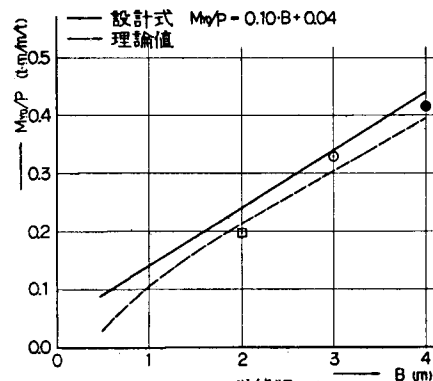


図-5-2 単純版 M_{40}

4. 連続版曲げモーメント (M_{xc}, M_{yc}, M_{xs})

4-1 解析条件

- 着目点; 支間中央(C), 中向支点(S)の2点。
- 支持桁本数; 3本桁とし、2径間連続版を解析対象とした。(図-7)
- 支持桁間隔(床版支間); 桁間隔Bは、単続版同様 $B = 2, 3, 4 \text{ m}$ とした。
- 桁支間長; 桁支間長Lは、 $L = 5 \cdot B$ とした。 $L = 5 \cdot B$ の場合、床版の最大曲げモーメントは、桁支間長の影響を、ほとんど受けないものと考えられる。¹⁾
- 張り出し量; 一律 1.0 m の張り出しとする。
- 床版厚, 輪荷重分布, 衝撃; 単続版解析時と同様である。
- 相関剛比; (式-2) により相関剛比 $H = 5, 10, 20, 50$ の4種類とした。尚、更橋においたトラス橋は、 $H = 5$ 前後、プレートガーダー橋(非合成)では、 $H = 10 \sim 25$ 程度である。但し、支持桁3本の剛性は、均一とし、積桁, 対傾構等は、考慮しない。

$$H = \frac{E_b \times I_b}{D \times L} \quad E_b \times I_b \text{ ; 支持桁曲げ剛性} \\ D \text{ ; } D = \frac{E_p}{12(1-\nu^2)} \text{ 床版曲げ剛性} \quad \text{--- (式-2)}$$

$$E_b = 2.1 \times 10^7 \text{ kg/m}^2, E = 0.3 \times 10^7 \text{ kg/m}^2, \nu = 1/6$$

- 荷重載荷方法; 一後輪荷重(長方形等分布荷重)を、桁支間中央 $1/2$ において、桁に直角方向へ移動させ、各着目点(支間中央, 中向支点)の影響線を、各相関剛比 H に対して作成し、輪荷重間隔を 1.0 m または、 1.75 m とし各着目点に、最大の曲げモーメントを生じさせる載荷方法を決定した。(図-8)

- 支持条件, 要素数; 支持桁両端において単純支持とした。板曲げ要素数最大約 400, 格子部要素数約 60

4-2 解析結果

4-2-1 支間曲げモーメント (M_{xc}, M_{yc})

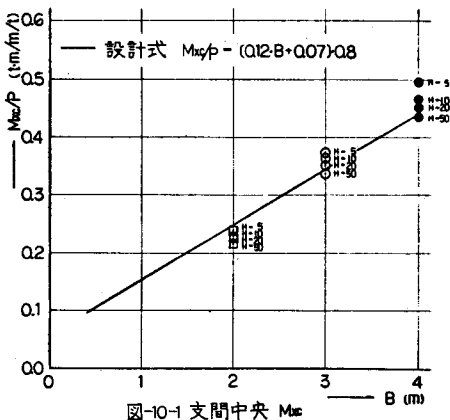


図-10-1 支間中央 M_{xc}

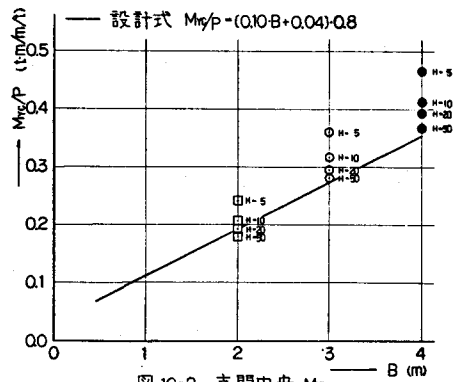


図-10-2 支間中央 M_{yc}

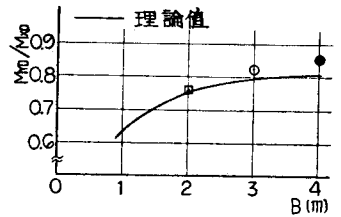


図-6 $M_{yp}/M_{xp} - B$

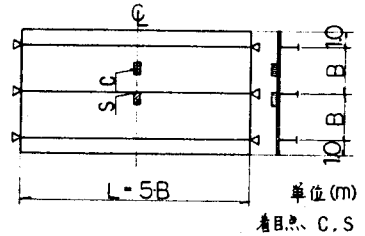


図-7 連続版

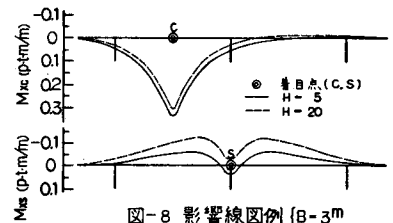


図-8 影響線図例 (B=3m)

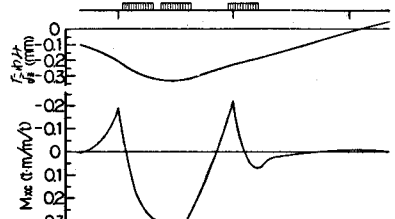
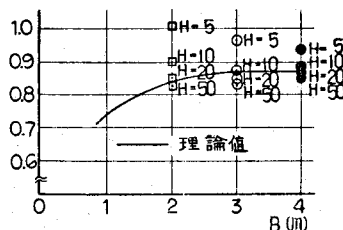
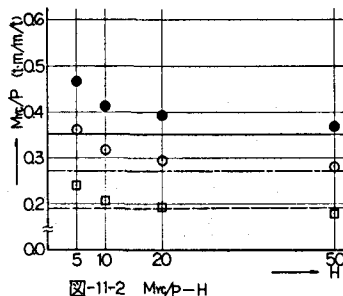
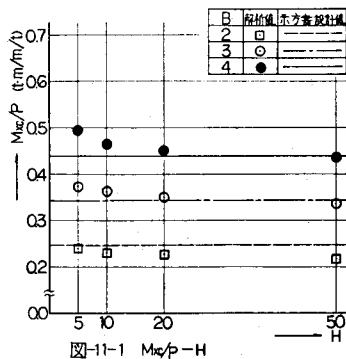


図-9 たわみ曲げモーメント図例 (B=3m, H=20)



床版支間B, 相関剛比Hをパラメーターとして解析した M_{ac} :主鉄筋方向の曲げモーメント, M_{nc} :配力鉄筋方向の曲げモーメント, M_{nc}/M_{ac} の各解析結果を次の各図に示す。尚、各図には、解析結果と同時に、曲げモーメントに関しては、示方書の設計値を、 M_{nc}/M_{ac} に関しては、示方書における理論値(固定版と単紙版による推定値)を併記している。(図-10-1)- M_{ac} とBの関係、(図-10-2)- M_{ac} とBの関係、(図-11-1)- M_{ac} とHの関係、(図-11-2)- M_{ac} とHの関係、(図-12)- M_{nc}/M_{ac} とBの関係、これらの図から次の点が理解できる。

- i) M_{ac}, M_{nc} は、各床版支間Bにおいて、相関剛比Hが小さくなるにつれ大となる。その程度は、 $H=5$ と $H=50$ を比較して M_{ac} の場合1.11~1.14倍であり、 M_{nc} の場合1.26~1.35倍である。つまり、Hの影響は、 M_{ac} より M_{nc} の方が大きい。
- ii) M_{ac}, M_{nc} は、 $H=50$ において($B=2$ の M_{ac} は除く)すべての床版支間に対して、示方書設計値に近い値となる。
- iii) M_{nc}/M_{ac} と床版支間Bの関係は、相関剛比Hが大きい場合には、Bの影響は小さく、Hが小さくなるにつれ、その影響は増大する。(H=5, B=2において $M_{nc}/M_{ac} \approx 1.0$)

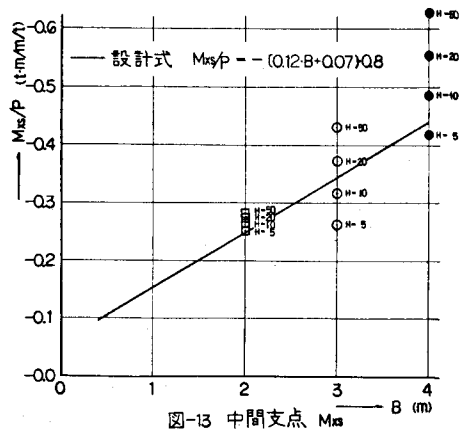
以上3点より、次のことが考察できる。示方書の設計値が、「示方書の中で考えている連続版の理論値」に10~20%の安全を含んだ値と見るならば、相関剛比Hが5~25である更用のRC床版に対して、現示方書における連続版の、支間中央設計曲げモーメントは、かなり危険側であると考えられる。また、支持桁の剛性が小さい場合には、示方書の設計値は、 M_{ac} 以上に M_{nc} が危険側となる。よってRC床版の支間曲げモーメント式には、相関剛比Hを考慮した適切な提案式が必要であると考えられる。

4-2-2 支点曲げモーメント (M_{as})

床版支間B, 相関剛比Hをパラメーターとして解析した M_{as} :主鉄筋方向の曲げモーメント、の解析結果を次の図に示す。(図-13)- M_{as} とBの関係、(図-14)- M_{as} とHの関係、この図より次の点が理解できる。

- i) M_{as} は、各床版支間Bにおいて、相関剛比Hが大きくなるにつれ大となる。その程度は、 $H=5$ と $H=50$ を比較してその比は、1.13~1.50倍である。
- ii) 床版支間Bが一定の場合、相関剛比Hが M_{as} に与える影響は、Bが大きくなるにつれ大となる。

以上2点より次のことが考察できる。支点曲げモーメントは、支持桁の況下を考慮した場合、支間曲げモーメントとは逆に安全側に働く。しかし、相関剛比が一定の



場合、支点曲げモーメントは、床版支間が大きくなるにつれ双曲線的に増大すること、また、示す書の設計値が安全を含んだ値であるにもかかわらず、実用のRC床版の相対剛比 $H = 5 \sim 25$ における解析値の中に設計値を超過するものがあることなどから支間曲げモーメントと同様に、相対剛比を考慮した提案式が必要と考えられる。

5. あとがき

道路橋の耐用年数は、一般にRC床版によって決まる場合が多いように思われる。また、このRC床版の設計に用いられている道路橋示す書における設計曲げモーメント式の不備を指摘する報告が多い。^{1),2),3)}

このような時、より現実的な連続RC床版の曲げモーメントとして筆者らは、弾性多主桁上のRC床版の曲げモーメントの解析を実施し、その結果は、前述の通りである。今回の解析においては、i)床版の支間方向が車両進行方向に直角の場合、ii)3本弾性支持桁上のRC床版、iii)直橋の床版、iv)横桁、対傾構は考慮しない、など、ある限られた床版に対する報告であるが、早急にこれらに関する実験及び数値解析により、道路橋鉄筋コンクリート床版の設計規定が、新たに提示されることを期待し、本報告がその一助となれば、幸いである。

本報告者における解析は、当社所有のIBMシステム370、汎用有限要素法プログラムICES STRUDL IIによった。

参考文献：

- 1) 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 (1976, 8)
- 2) 佐藤 進, 成岡昌夫; 支持桁のたわみと考慮した鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の曲げモーメントについて, 土木学会論文報告集 第175号 (1970, 3)
- 3) 芳村 仁, 荻沢憲吉, 高井 修; 多主桁橋の床版支持桁の変形と床版応力の相関性について, 第29回年次学術講演会講演概要集 (S49, 10)
- 4) O.C.Zienkiewicz, Y.K.Cheung; The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics, 日本語訳 マトリック法有限要素法, 培風館
- 5) O.C.Zienkiewicz; The Finite Element Method in Engineering Science, 日本語訳 基礎工学におけるマトリック法有限要素法, 培風館
- 6) R.H.Gallagher; Finite Element Analysis Fundamentals, 日本語訳 有限要素解析の基礎, 丸善
- 7) ICES STRUDL II Engineering User's Manual Volume 2
- 8) 日本道路協会; 道路橋示す書・同解説 (S48, 2)

