

長支間リブ付きプレキャストPC床版の耐荷特性に関する実験的研究

Experimental Study on Strength of Slabs Performed with Long Span Precast PC-panel having Rib

長山 秀昭*, 市川 和臣*, 川畑 篤敬**, 猪村 康弘**

Hideaki NAGAYAMA, Kazuomi ICHIKAWA, Atsunori KAWABATA and Yasuhiro IMURA

*工修 NKK基盤技術研究所都市工学研究部(〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町 1-1)

**工修 NKK橋梁・港湾建設部 開発技術室(〒230-8611 横浜市鶴見区末広町 2-1)

Experiments and analyses to study the performance of precast PC-panel having rib are described. First:Static loading test on a single panel and fatigue test on 2-panels were carried out on full-scale models.Test results show that

- 1) both the panel and the rib section act as an integral unit in the direction of the rib and
- 2) degradation in the strength at joint part between panels was a little and the fatigue durability was very good.

Second:FEM analyses using solid elements and shell elements were made on the specimens.The analytical results showed a good agreement to the result of experiments ,so we determined the design method of precast PC-panel having rib in two directions and bending moments for the design were derived with parametric studies

key words: PC-panel having rib,fatigue test,bending moment for the design,FEM analysis

1. はじめに

鋼橋の少数主桁橋で床版の長支間化に対応するためには、床版厚(床版重量)の抑制が可能で、施工性、耐久性に優れた床版構造が要求される。本研究では、主部材方向(橋軸直角方向)をプレレストコンクリート(PC)のリブ付きT型断面とし、配力部材方向(橋軸方向)を鉄筋コンクリート(RC)構造とする一方向PC床版の検討を行った。本床版においては、橋軸方向の継手として鉄筋を直角ループ状にして支圧板を併用したRC継手構造を採用し、橋軸直角方向にはPC断面構造としており、これらを組合せた版としての性能評価が重要な課題となる。版としての性能評価に関して実物大試験体を製作し、単体版としての静的強度特性を把握した上で、単体版を2体接合した連続版において定点疲労試験と多点移動試験を行い、継手部分の力学特性を把握すると共に、版としての動的強度特性を検討した。

さらにこれらの実験結果を踏まえて、支間 6m~12mを対象としてFEM解析を行って、設計曲げモーメント式を誘導した。

2. リブ付きプレキャストPC床版

図 1に床版概要を示す。本床版は、①床版にリブを設け、床版を主桁とリブで支持することで床版厚を抑制して床版重量を低減、②主桁上のリブ間の空間に群スタッドジベルの配置が可能で合成桁への構造化が容易、③支

圧板併用フープ継手^{1),2)}により現場架設の施工性を改善、等の特徴を有する。

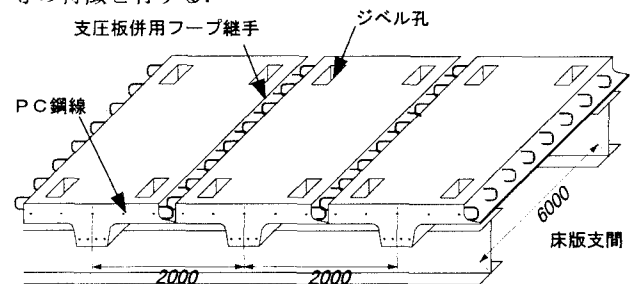


図 1 PC床版概要図

3. 実物大リブ付きPC床版の静的、動的試験

床版支間 6m の実物大のリブ付きPC床版の単体版、連続版としての挙動を把握するための検討を行った³⁾。

3.1. 試験体

図 2に試験体(単体版)の形状寸法を示す。床版幅 2m、スラブ厚(リブ以外の一般部)0.26m、リブ高 0.30m、リブ幅 0.40mである。コンクリートの設計基準強度は 500kgf/cm² であり、スラブ部とリブ部にPC鋼線を配置して、リブ下端の圧縮応力が 70kgf/cm² になるように、プレストレス量 171tf(19tf/本)を導入した。

図 3に継手部の形状寸法を示す。間詰め幅は 22cm、重ね継手長は 17cm とし、支圧板 SS400 の平鋼(板厚 6mm ×幅 65mm)にφ40mm の孔を 50mm ピッチで設けた有

孔支圧板(開口率 39%)を2枚挿入している。

間詰め部には、膨張コンクリート($\sigma_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$ 、粗骨材最大寸法 25mm、膨張材は、単位セメント重量の 10%)を打設した。なお、プレキャスト部の端面はシアキーを設けた上で粗面処理を行い、間詰め部との付着を良好にした。

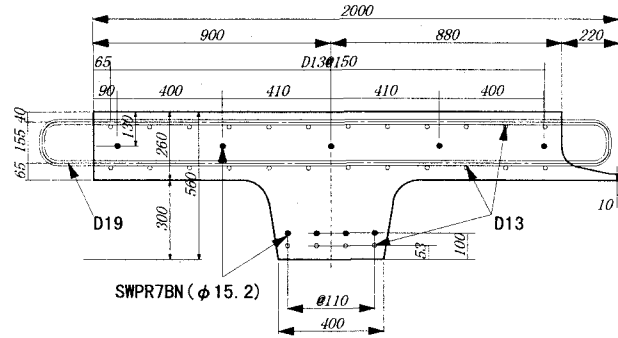


図 2 PC床版断面図

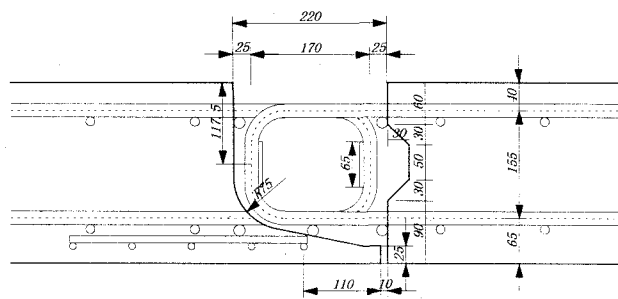


図 3 継手部詳細図

3.2. 試験結果

(1) 単体版の静的曲げ試験

単体版を支間 6m で単純支持し、試験体中央に 20cm × 50cm の載荷板を設置し、静的曲げ試験を行った結果の一例を図 4 に示す

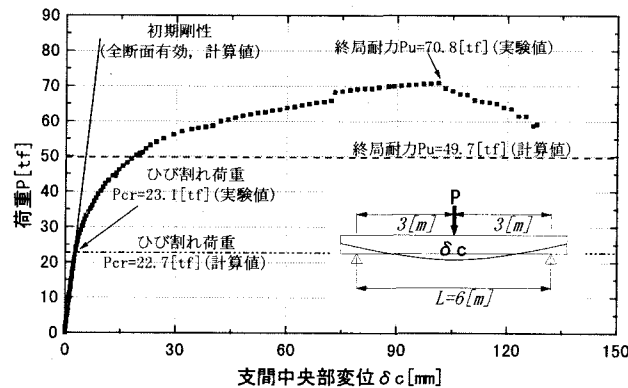


図 4 荷重—変位関係(単体版)

ひび割れ発生前の弾性域において、実験値は全幅・全断面有効なはりとして仮定した計算値と良く一致し、破壊時においても十分な耐荷特性を保有している。なお、図 5 に弾性範囲(荷重 10tf)における断面のひずみ分布を示す。

断面の中立軸はスラブの中であり、断面全体の平面保持が成り立っており、スラブ部とリブ部の上縁の圧縮応力はほぼ等しい。以上より、本床版は、剛性、応力の両面から全幅・全断面有効な T 型梁として仮定してよいことが分かる。

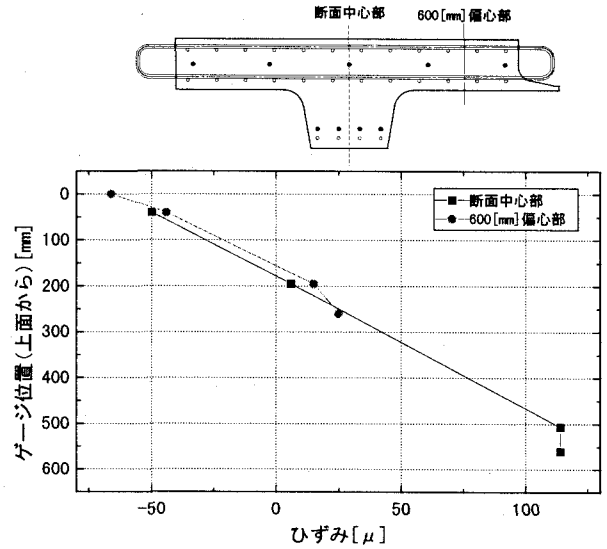


図 5 10[tf]でのひずみ分布

(2) 連続版による動的試験

継手部に繰返し荷重を載荷した時の継手部の挙動および継手を含めた版の挙動を把握することを目的として、連続版(単体版 2 体接合)の定点疲労試験と多点移動載荷試験を実施した。図 6 に載荷方法と載荷ステップを示す。試験体中央の継手位置(点 B)に 20tf で 200 万回載荷した後、2 tf ピッチで 40tf まで荷重を増加し、所定回数ごとに載荷位置 3 点を順次移動させて行った。さらに、多点移動載荷試験後、試験体中央で静的載荷を行って残留強度を把握することとした。

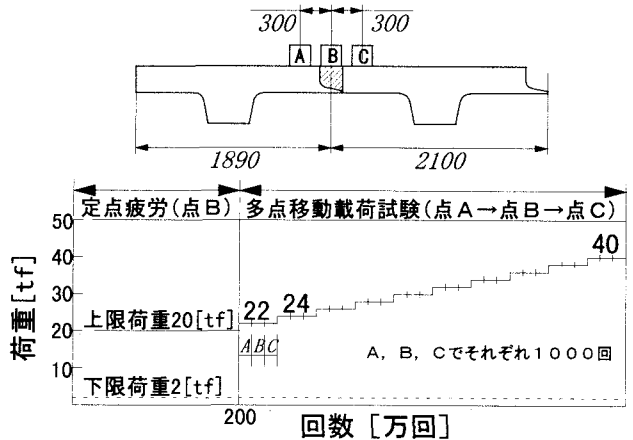


図 6 載荷ステップと載荷位置

1) 定点疲労試験

図 7 に床版上面における断面直角方向(橋軸方向)のコンクリートのひずみ分布を示す。10 回、100 万回、2

00万回載荷時に大きな変化は見られず弾性的に挙動し、コンクリート上面ではリブ直上部分で引張、リブ間部分で圧縮ひずみが生じており、床版スラブはリブによって支持された連続版として挙動する。

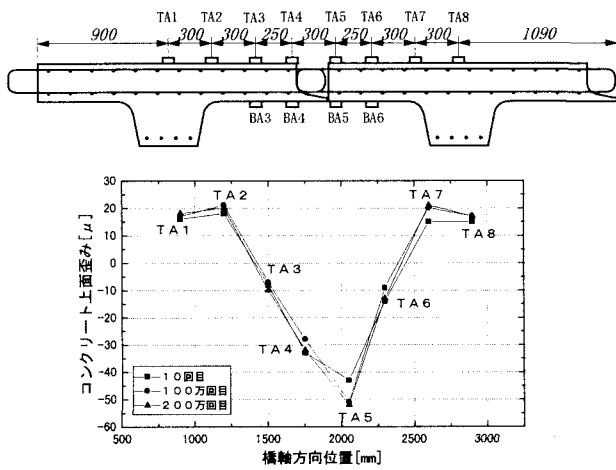


図7 橋軸方向コンクリート上面ひずみ分布

2) 多点移動載荷試験

図8に中央載荷(点B)時の試験体中央における荷重-変位関係を示す。版全体は、ほぼ線形的に挙動している。

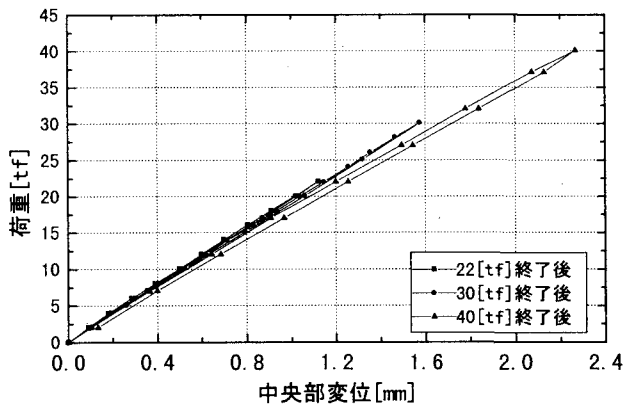


図8 中央部荷重-変位関係

継手部の橋軸方向の応力伝達状況を把握するために、図9にコンクリート下面ひずみ、図10に継手部鉄筋ひずみを示す。図9、図10よりコンクリート下面で引張応力の増加率が減少すると、継手部鉄筋の引張応力の増加率が増加することで応力伝達がなされていることが分かる。

次に、図11に多点移動載荷試験終了後の静的載荷試験における荷重-変位関係を示す。載荷装置の能力の関係で荷重50tfまで載荷したが、荷重42tfでリブ下面に橋軸方向のひびわれが発生した。また、同図には前述の静的単体曲げ試験結果も併せて示した。連続版のひび割れ強度、剛性は、単体版と比較して約2倍となっている。リブ間の純間隔が小さいために、継手部が健全に応力伝達し、版全体として一体化していることが確認された。

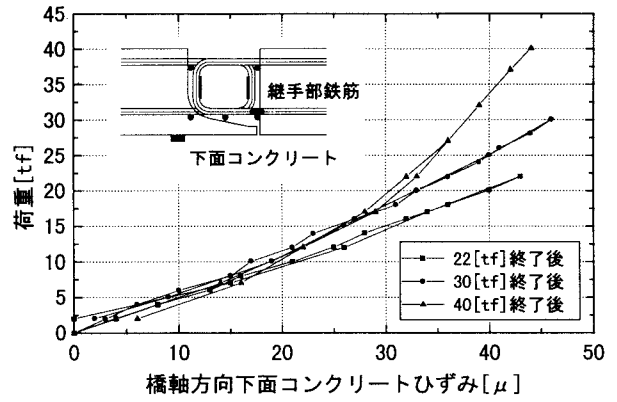


図9 橋軸方向コンクリート下面ひずみ

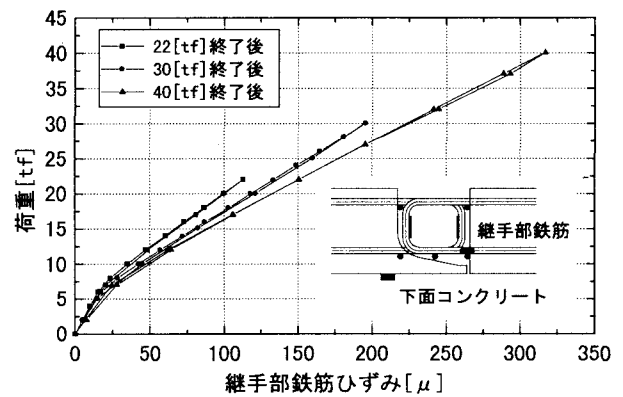


図10 継手部鉄筋ひずみ

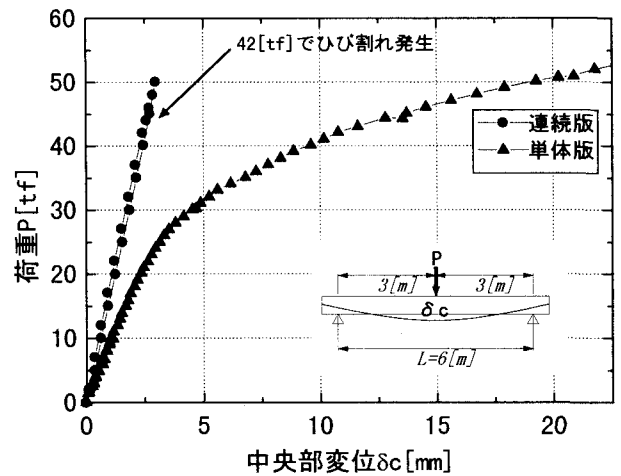


図11 荷重-変位関係

4. FEM解析による設計曲げモーメント式

4.1. 解析概要

設計曲げモーメント式を誘導するために、2次元FEM解析(シェル要素)を行った。解析モデルは、張出し部なしの2辺単純支持版とした。輪荷重は図12に示すように、T荷重(後輪のみ、 $P=10\text{tf}$ 、載荷面積 $20\text{cm}\times 50\text{cm}$)を橋軸方向1組、橋軸直角方向に可能なかぎり配置した。床版支間は6m, 8m, 10m, 12mの4ケースとした。橋軸方向の長さは、無限版として扱うために、床版支間の4倍

とした。リブ付き床版では、リブ部に載荷する場合とスラブ部に載荷する場合とでは、発生する曲げモーメントが異なることが予想されたため、輪荷重の載荷位置は、リブ部とスラブ部の2種類とした。なお、リブ付き床版のリブの影響を把握するために、平板床版(等厚版)の解析も併せて行った。

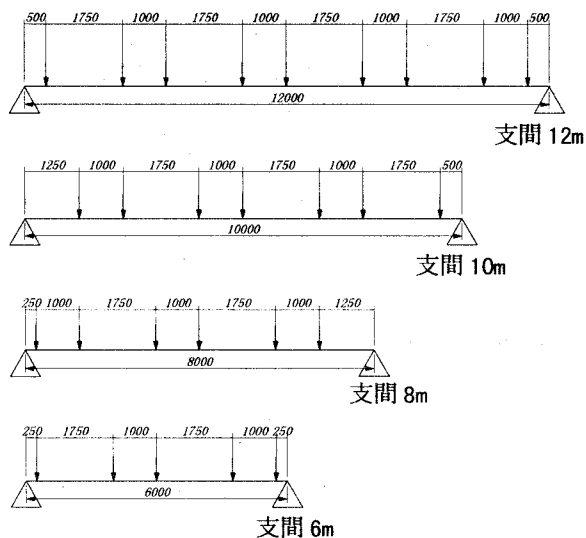


図 12 輪荷重配置図

4.2. 解析結果

(1) 床版支間曲げモーメント M_x

図 13 に床版支間 6m, リブ上載荷の場合の床版支間曲げモーメント M_x のコンター図を示す。リブ付き床版の場合、リブ部に大きな曲げモーメントが生じるが、その影響範囲は、載荷位置を含めて床版 5 パネル程度である。その他の床版支間の場合も同様であり、リブ付き床版においても、従来の等厚版と同じように辺長比が 1 : 2 程度であれば無限版と考えてよい。

次に、最大曲げモーメントが発生する図 13 の床版支間中央の M_x の橋軸方向分布を示したのが図 14 である。なお、同図には、リブ上載荷、リブ間載荷の場合および等厚版の解析結果も併せて示した。等厚版では、全体的に一様な曲げモーメント分布となるのに対して、リブ付き床版では、リブ上載荷、リブ間載荷ともに、スラブ部で小さく、リブ部に大きな曲げモーメントが発生する。なお、リブ上載荷の場合のスラブ部とリブ部の曲げモーメントの分担比(1/10 程度)は、単体版曲げ試験のひずみ分布(図 5 参照)から求めた曲げモーメント分担比とほぼ一致しており、剛性、応力ともに全幅・全断面有効な T 型はりとして仮定してもよいことと合致する。

次に、図 14 の曲げモーメント分布を床版幅 2m の範囲で積分し、1 パネル分の曲げモーメントを求めて、橋軸方向分布を示したのが図 15 である。同図には、等厚版の解析結果も併せて示した。

図 15 より、床版幅 2m 全体の積分値モーメントで見る

とリブ付き床版(リブ上載荷)の方が等厚版よりわずかに大きい程度であり、リブ付き床版の設計曲げモーメントは、等厚版を前提とした道示式の準用も考えられる。

床版支間方向の断面設計にあたっては、図 15 の断面全体の設計曲げモーメントで応力照査した上で、リブ部、スラブ部それぞれの部位についても曲げモーメント分担比に応じて応力検討を行うのが良いと考える。

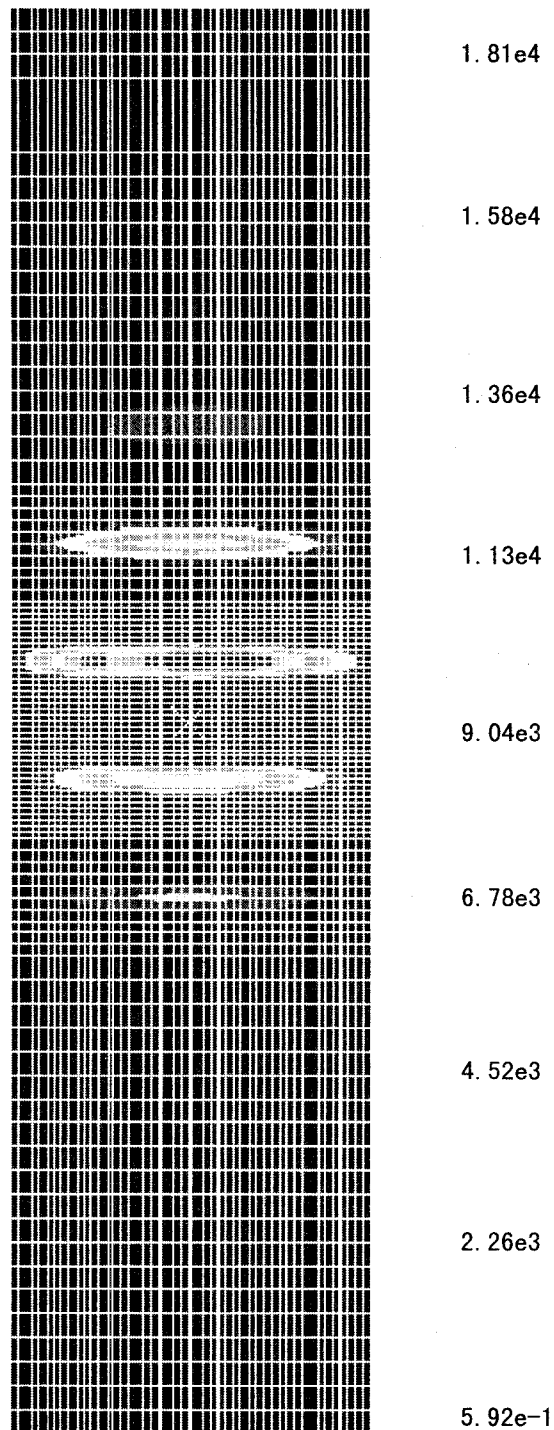


図 13 M_x コンター図

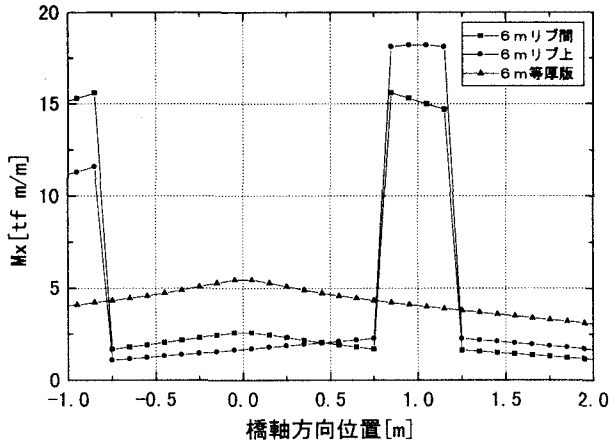


図 14 最大曲げモーメント比較

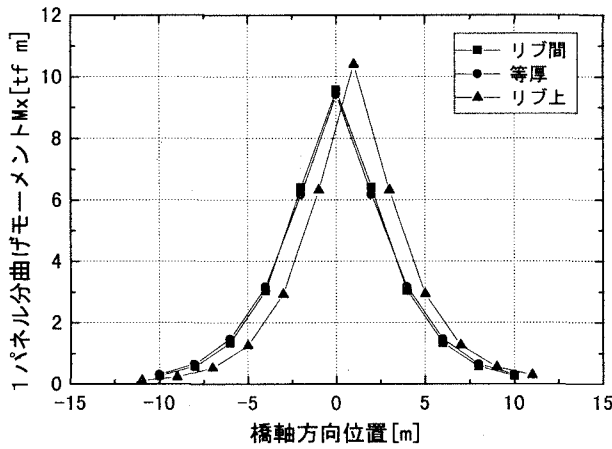


図 15 パネル毎のモーメント

(2) 橋軸方向曲げモーメント M_y

図 16 に床版支間 6m、リブ上載荷の場合の橋軸方向曲げモーメント M_y のコンター図を示す。曲げモーメントは床版中央の輪荷重の載荷位置付近で最大となっている。

この最大曲げモーメントを含む要素幅について M_y の橋軸方向分布を図 17 に示す。図 17 より、 M_y はリブを弾性支点とする連続はり的な挙動を示すことが分かる。同図には、等厚版の結果も併せて示しているが、リブ付き床版はリブの弾性支持により、等厚版の最大曲げモーメントより小さくなることが分かる。なお、リブ上載荷とリブ間載荷の最大曲げモーメントを比較すると、前者は後者の 1.14 倍となっている。すなわち、床版厚の薄いスラブ部に載荷した場合よりも床版厚の厚いリブ部に載荷した場合の方がより大きい曲げが発生する。そこで、剛性が不連続になる橋軸方向について、立体 FEM 解析(ソリッド要素)を行ってスラブ部とリブ部の応力分布を調べた結果、リブ部への応力伝達は小さいことが分かった。

以上より、橋軸方向の断面設計では、リブは抵抗断面から除外して、床版厚の薄いスラブ部断面に着目して設計するのが良いと考える。

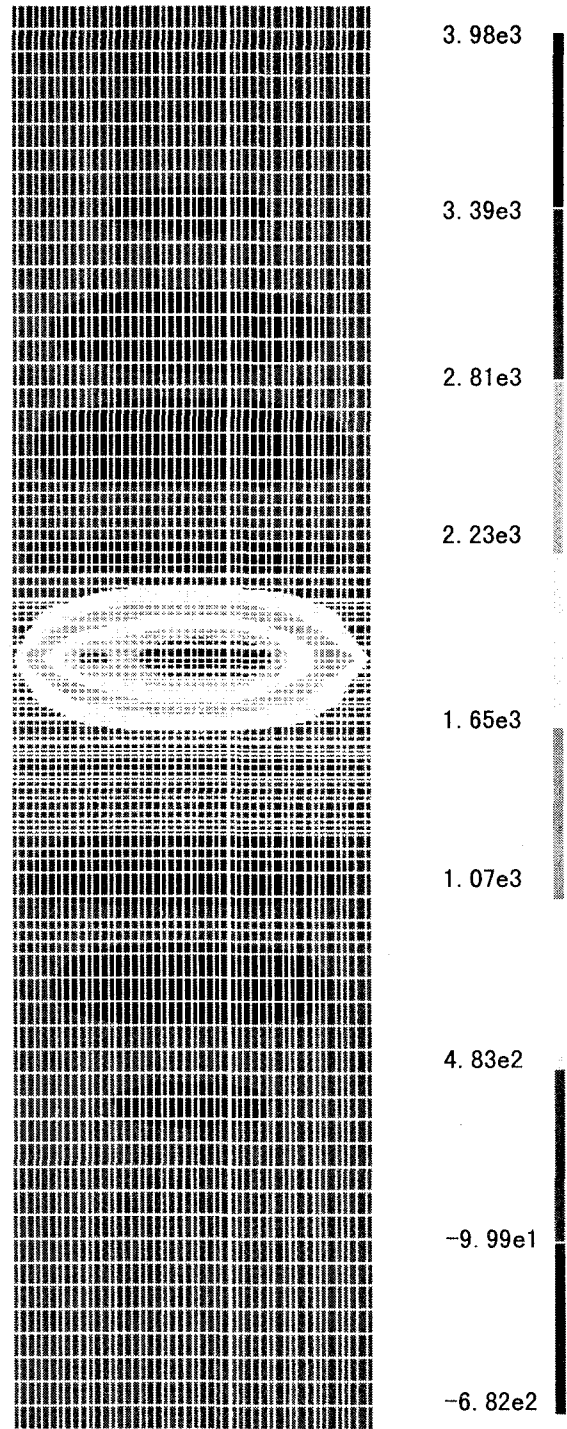


図 16 M_y コンター図

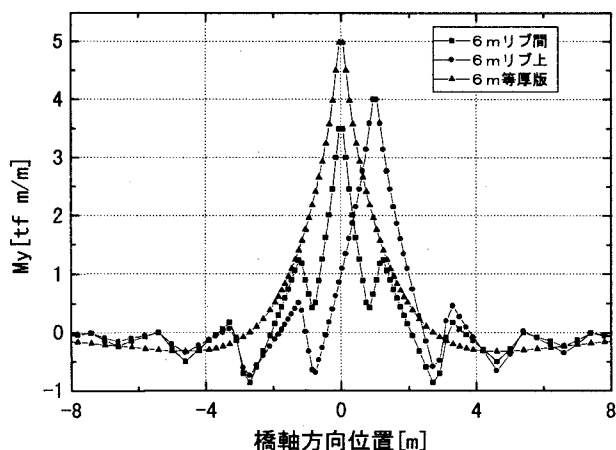


図 17 橋軸方向 M_y 分布図

4.3. 設計曲げモーメント式

(1) 床版支間曲げモーメント M_x

リブ付き床版の断面設計にあたって、断面全体の曲げモーメントは、図 18に従って以下の設計曲げモーメント式を提案する。

$$M_x = \alpha (0.083L + 0.020) P \quad [\text{tf m/m}]$$

ここに、

P : T 荷重 (=10tf)

α : 補正率(支間 6m で 15%, 12m で 0%となる余裕量)

補正率 α の設定において、道示式は解析により得られた理論値に対して 10~20%の安全を見ているが、床版支間の大きい場合は解析の対象とした荷重状態を再現する可能性が小さいことから、ここでは支間 6m で 15%の余裕を見込み、12m で余裕を 0%とするのがよいと考える。

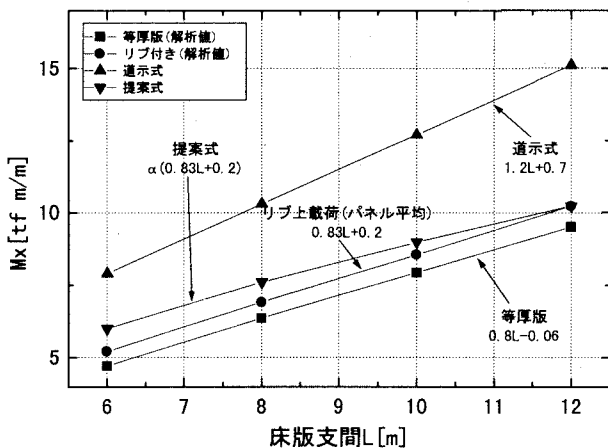


図 18 M_x 設計曲げモーメント ($P=10[\text{tf}]$)

(2) 橋軸方向曲げモーメント M_y

曲げモーメント分布は、リブで支持された連続版の挙動を示し、リブ上で負の曲げモーメントが生じるが非常に小さい値である。設計曲げモーメント式は、正曲げに着目し、図 19に示すように、最大曲げモーメントと床版支間 L の関係式として以下のように提案する。

$$M_y = \alpha (0.053L + 0.085) P \quad [\text{tf m/m}]$$

ここに、

P : T 荷重 (=10tf)

α : 補正率(支間 6m で 15%, 12m で 0%となる余裕量)

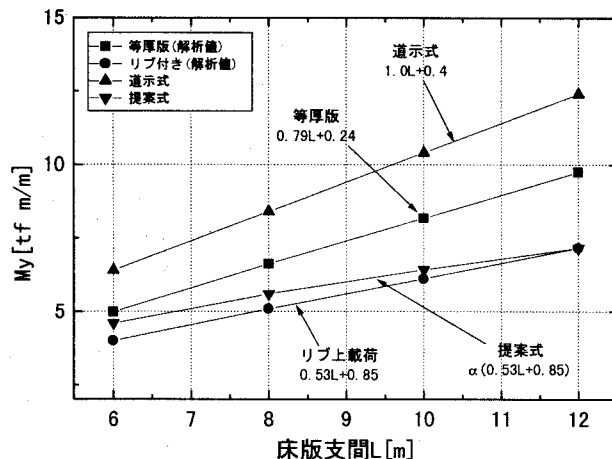


図 19 M_y 設計曲げモーメント ($P=10[\text{tf}]$)

5. まとめ

- ① 単体版、連続版の曲げ試験より、床版は、橋軸直角方向にスラブとリブを含めて全幅・全断面有効な断面として挙動し、橋軸方向には、主桁とリブで支持された連続版として挙動する。
- ② 連続版の定点疲労試験、多点移動荷重試験より、繰返し荷重に伴う床版剛性や継手構造の疲労強度低下は見られず十分な耐久性を保有する。
- ③ リブ付き床版の活荷重に対する曲げモーメントについて FEM 解析を行った。平板床版(等厚版)と比較して、床版支間方向の曲げモーメントは同程度の値であり、橋軸方向の曲げモーメントは 80%程度に低減できる。

謝辞: 本研究の実施にあたっては、大阪大学松井繁之教授から貴重な助言を頂きました。ここに、記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 高久達将, 長山秀昭, 納見昭広, 伊藤壮一, 北川貴一: プレキャスト床版支圧板併用フープ継の曲げおよびせん断試験, 土木学会第 50 回年次学術講演会, I-157, 1995
- 2) 長山秀昭, 新谷卓也, 高久達将, 北川貴一: プレキャスト床版支圧板併用フープ継のねじり試験, 土木学会第 51 回年次学術講演会, I-157, 1996
- 3) 長山秀昭, 市川和臣, 川畑篤敬, 猪村康弘: 長支間リブ付きプレキャスト PC 床版の静的, 動的試験, 土木学会第 53 回年次学術講演会, CS-16, 1998
- 4) 真鍋英規, 林功治, 松井繁之: チャンネル形状プレキャスト PC 床版の開発, プレストレストコンクリート, Vol. 40, No.2, 1998.3