

I-28

鋼床版橋の橋面舗装に生じる局所変形に関する構造的要因について

北海道大学工学部 正会員 荻澤 憲吉
 北海道大学工学部 学生員 斎藤 剛

1. まえがき

この報告は鋼床版橋において舗装表面に生じる縦ひび割れ問題に関連して、その原因と考えられる車輪荷重によって生じる局所的な負の曲げ変形と、鋼床版自体の特性からくる構造的要因との関係について検討を行い、さらに供用中の橋梁の鋼床版橋面舗装の縦ひび割れに関する補修対策として弾性接触支持方式による局所変形軽減策の効果について解析的に明らかにしたものである。

2. 鋼床版橋の橋面舗装の縦ひび割れについて

鋼床版橋の舗装表面において橋軸方向に認められるひび割れ（縦ひび割れ）は、その上を走行する車両の車輪荷重によって鋼床版に局所的な負の曲げが働くためであり、その負の曲げによって生じる舗装層の表面に引張り歪が、その時の環境下で許容される歪量を超えて繰り返して疲労で部分的な亀裂破壊が起こることによって生じると考えられている。このことは、縦ひび割れが、おもに鋼床版のデッキプレート（DP）と主桁との接合部上（主桁位置）の舗装表面においてよく発生しているという現象と合致している。

車輪荷重による鋼床版の局所的な負の曲げは主桁位置以外の、DPと縦リブとの接合部上（縦リブ位置）でも生じているのであるが、主桁位置における負の曲げの方が縦リブ位置でのそれよりもかなり大きいことが解析からも明らかにされている。それは、主桁のたわみに関する剛性が縦リブを含めた鋼床版それ自身のたわみ剛性に比べてきわめて大きいためであり、鋼床版構造が全体としてたわみやすい床版部分と剛性の強い主桁とで構成されているために、全体のバランスがとれずに剛性が主桁に偏って集中していることに因るためであると考えられる。

鋼床版の縦ひび割れを防止するためには、車輪荷重による局所的な負の曲げを軽減することが肝要なことであるが、そのためにはこのような鋼床版の構造的な特性を検討しそれに対応した対策を考えることが必要である。

その鋼床版の縦ひび割れ防止には、次のようないくつかの構造的な検討とそれに対応する手段が考えられる。

(1) 主桁のたわみ剛性を低下させる

ただし、この手法では橋梁の桁として、もたなくなる可能性がある。

(2) 鋼床版のたわみ剛性を向上させる

(a) リブ高またはリブ形状の工夫によって縦リブの剛性を高める

この手法では耐荷力の増加には効果があってもDPの局所変形の方はあまり変わらないので、当面する局所的な負の曲げの軽減には直接的な効果は期待できない。

(b) DPの板厚を増す

局所的な負の曲げは減少するが、全体として鋼重の増加となって床版を鋼床版とする意味がなくなる可能性がある。

(3) 主桁位置での剛性の集中を緩和する

主桁位置近傍のある範囲内においてだけDPの剛性を増すことによって剛性の大きな段差を緩和する。すなわち高剛性の主桁と低剛性のDPの間に中剛性の領域を作る。たとえば、主桁とそれと隣接する縦リブとの間の1区間においてDPの板厚を厚いものにする、または重ね板とする手法が考えられる。このことによってその区間のDPの局所変形を減少させることが出来る。

(4) 直接的に主桁近傍のたわみを小さく抑える

主桁とそれと隣接する縦リブとの間において、直接的にD Pを下から支持して局所変形を小さく抑える手法である。この手法として主桁とD Pの間に斜めのコーナープレートを入れる方法、および主桁に取り付けたL形鋼（山形鋼）などでD Pを支持する方法が考えられる。このうち、コーナープレートの場合では、取り付けには溶接などの作業のために、主桁と隣接縦リブの間には十分な空き空間が必要となるが、その空間が幅20cm程度の場合では作業が困難となることが多い。

以上の構造的な検討の結果から、鋼床版の縦ひび割れ防止対策としては（3）と（4）の対策手法に可能性があると思われるが、そこには設計製作段階でなければ行えない対策と現場でも行える対策とがある。既に供用されている橋梁への補修対策として可能なものは、溶接などを用いない手法が望ましいものであり、これらの中では、主桁に取り付けたL形鋼などでD Pを支持する方法のみとなる。

3. 弾性接触支持方式による局所変形軽減策について

(1) 弾性接触支持方式

供用中の橋梁の鋼床版橋面舗装の縦ひび割れに関する補修対策としては、その橋梁の部材の一部を取り替えるか、または部材を付加して補剛することのどちらかの手法となるが、部材を付加する場合は鋼床版全体の鋼重をできるだけ増やさないようにする必要がある。前節で述べた弾性接触支持方式による局所変形軽減策は、必要最小限度の鋼材を使用してできるだけ簡便な現場作業によって鋼床版を補修しようとするものである。そのイメージを図1に示す。

この方式では、主桁に不等辺L形鋼を橋軸方向にボルト止めで取り付けて、その短辺の先端部をD Pの裏側に接触させて車輪荷重作用時に生じる局所的なたわみ変形をその位置で弾性的に受けて変形を小さく抑えようというものである。

すなわち、D P面と平行なL形鋼の短辺を、橋軸方向に細長い「板バネ」として利用するものであるから、この弾性接触支持方式の効果はこのバネの弾性と接触支持する位置によって決まることになる。

(2) 力学的な検討と解析手法への組み込み

L形鋼によってD Pが弾性的に支持される場合、接触支持であるから力の伝達は上下方向のみである。その力の伝達はL形鋼とD Pの間に挟まれる硬質ゴムなどを經由して、橋軸直角方向にはほぼ集中的に、一方橋軸方向には連続的に行われる。したがって、このL形鋼短辺の板を主桁から張り出した細長い片持ち板と考えて、主桁と接合している辺上で固定条件（たわみとたわみ角が0）、張り出した先端の辺上では曲げモーメントが0という条件の下で解析すると、片持ち板の端辺上での反力分布（D Pとの伝達力）とたわみ分布との関係式が誘導される。これらの反力分布とたわみ分布が橋軸方向に級数展開される場合には、鋼床版構造を対象とする折板理論解析手法の中に組み込むことが可能となり、弾性接触支持方式による局所変形の軽減の効果を解析的に明らかにすることが出来ることになる。

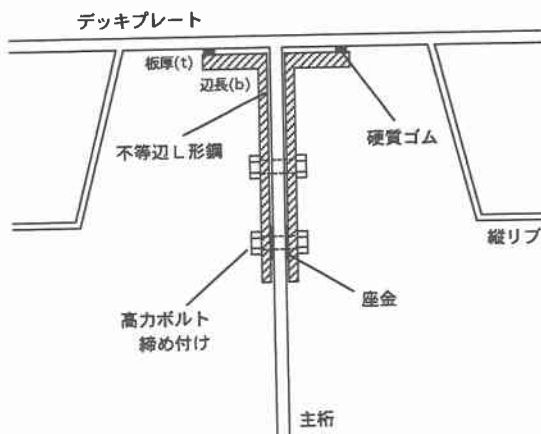


図1 弾性接触支持方式のイメージ図

4. 実橋を対象とした解析例

実際の橋を対象にして解析を行った例を示す。

(1) 実橋モデルと解析手法

解析の対象とした橋は幅広い主桁間隔をもった2主桁橋で、3100mm間隔の横リブと、縦リブ（Uリブ320×240×6-40）が幅員方向に20個配置された鋼床版を持っている。D Pの厚さは12mm、アスファルト舗装厚は80mmである。車輪荷重は、総重量20tfの3軸ダンブトラックとして、載荷位置は橋軸方向にはダンブトラックの後輪が横リブ間隔の中央に作用する位置とし、橋軸直角方向には局所変形を生じやすいいくつかのケースを想定してそれぞれの位置に載荷した場合を解析した。作用させた後輪は、間隔100mmの空きがある複輪として、1輪あたりの荷重は2tfで、車輪1輪ごとの載荷面は橋軸方向にやや長い250×200mmの長方形分布で、これを級数に展開して解析した。

舗装のポアソン比は0.35とし、変形係数は変動範囲を十分に考慮した。

解析は、ダンブトラックが様々な位置に作用する場合の局所変形を明らかにするための橋のほぼ全幅員を対象とした解析Aと、主桁近傍の局所変形に対する弾性接触支持方式の効果を明らかにするための幅員の一部分を対象とした解析Bの2段階に分けて行われた。

いずれの解析においても、鋼床版のD Pとリブを板要素に分割して車輪荷重の級数展開に対応して内部応力や変位も級数解で得られる折板理論を適用した。このとき、D Pは舗装と鋼の2層板として解析に組み込んだ。演算は、解析Aにおいては主桁間と張り出し部を含めて約80個の板要素の分割して行われ、解析Bでは主桁近傍で約30個の板要素に分割して行われた。

(2) 鋼床版における局所変形

鋼床版に局所変形を生じやすいダンブトラックの作用位置についていくつかのケースを想定してそれぞれの位置に載荷して解析した結果、複輪が主桁を挟むような載荷位置にある時にその主桁位置で最大の負の曲げが生じていることが確認された。

そのような最大曲げの載荷状態にあるときのアスファルト層の上表面に生じていると思われる歪の解析結果のうち、主桁近傍の隣接するリブ接合部との間のごく狭い範囲内での歪分布を図2に示す。解析の対象としたモデル橋は主桁と隣接するリブとの間隔が170mmおよび200mmと比較的狭く作られているのであるが、それでもなおこの位置に複輪荷重が作用すると主桁上の負の曲げのために舗装表面に大きな引張り歪が生じることがこの図から分かる。（ここで、この解析結果は舗装の変形係数ごとに最大引張り歪が異なることも示しているが、舗装の変形係数は温度や載荷速度などに因るものであるから、その大きさの歪で疲労破壊するか否かはその環境下で論じる問題であることに留意する必要がある。この図で示していることは、舗装がいろいろな環境下にあってもいずれの場合でも主桁位置で舗装の上表面に最大の引張り歪が生じるということ、である。）

(3) 局所変形に対する弾性接触支持方式の効果

主桁近傍の局所変形に対する弾性接触支持方式の効果を明らかにするために、不等辺L形鋼を主桁に取り付けてD Pを接触支持した場合について折板理論で解析した結果を図3に示す。図3は舗装の変形係数が1000kgf/cm²の場合の、先の図2と同じ最大曲げ

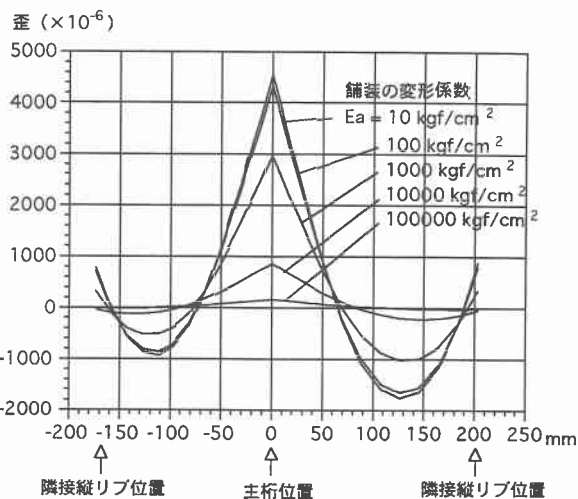


図2 最大曲げの載荷時の舗装上表面の歪分布

の載荷状態にあるときのアスファルト層の上表面に生じるとされる歪分布の主桁近傍における解析結果であり、ここでは取り付けの不等辺L形鋼の短辺の辺長 b と板厚 t のそれぞれについて3つの値を想定して解析結果を示した。

この図3から、図に記入したL形鋼を取り付けない場合の歪分布と比較することで、主桁位置での負の曲げがL形鋼取り付けによってどれだけ低下するかという弾性接触支持方式の効果が明らかになるとともに、L形鋼の

寸法次元（辺長 b 、板厚 t ）と効果の程度との関係を見出すことが出来る。この解析結果からは、板厚が厚いほど負の曲げ軽減の効果が大きく、辺長は50mm程度の場合が効果的であるということがわかる。

また、舗装の変形係数が 10000kgf/cm^2 の場合の解析結果を図4に示す。この場合では舗装体自体の剛性が高いために車輪荷重による局所変形も小さく主桁位置で生じる引張り歪も小さいが、ここでも弾性接触支持方式を採用することによって最大引張り歪が軽減される効果を認めることができる。

以上から、弾性接触支持方式によって主桁近傍の局所変形を小さく抑えて車輪荷重による主桁位置の負の曲げが軽減されることが解析的に確認された。

5. まとめ

この報告において、鋼床版橋の舗装表面に生じる縦ひび割れ問題について鋼床版の特性からくる構造的要因の検討を行った。

さらに供用中の橋梁の鋼床版橋面舗装の縦ひび割れに関する補修対策として弾性接触支持方式を提案し、その方式によって効果的に局所変形が軽減されることを折板理論解析の結果から明らかにした。

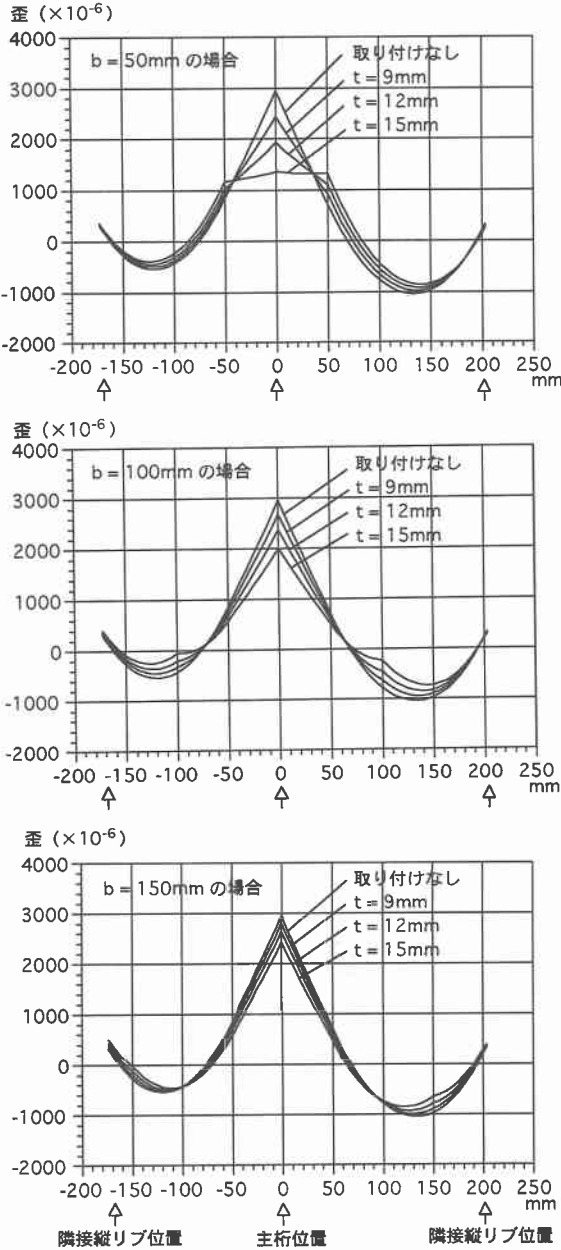


図3 弾性接触支持された場合の最大曲げ載荷時の舗装表面の歪分布（ $E_a = 1000\text{kgf/cm}^2$ の場合）

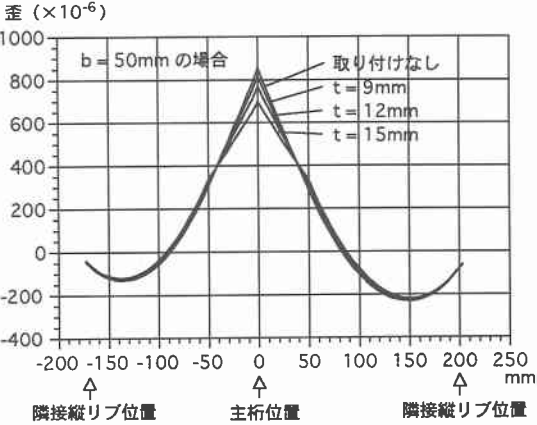


図4 弾性接触支持された場合の最大曲げ載荷時の舗装表面の歪分布（ $E_a = 10000\text{kgf/cm}^2$ の場合）