

サンドイッチ型複合床版の疲労耐久性

Fatigue Durability of Steel-Concrete Sandwich Slab

阿部幸夫*, 井澤衛**, 中川敏之***

Yukio ABE, Mamoru IZAWA, Toshiyuki NAKAGAWA

* 工修 住友金属建材(株) 道路土木製品技術部 (〒660-0891 兵庫県尼崎市扶桑町 1-21)
(前 住友金属工業(株) 建設技術部)

** 工修 住友金属工業(株) 土木・橋梁技術部 (〒100-8113 東京都千代田区大手町 1-1-3)

*** 住友金属工業(株) 土木・橋梁技術部 (〒100-8113 東京都千代田区大手町 1-1-3)

Recently, some damages on reinforced concrete slabs in steel bridges have occurred due to increase of heavy traffic. So, the authors proposed a high durable composite-slab with closed steel-concrete sandwich slab. The sandwich slab panel consists of CT shape steel welded on the bottom plates with certain interval, covering plates on the upper surface of CT shape steel, and cast-in-place concrete filled into the spaces. To investigate the fatigue strength behavior of this composite-slab, the wheel trucking test using real-size model was carried out. As a result of the test, the composite-slab was strong enough to bear the wheel load of the magnitude 157kN to 392kN and the number of cycles 520×10^3 . It was confirmed that the proposed composite-slab was applicable to practical use.

Key words : fatigue durability, wheel trucking test, composite slab

1. はじめに

従来、鋼道路橋の床版には、経済性に優れ、比較的施工が容易である鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版と呼ぶ）が用いられてきた。

しかし、近年の重交通による疲労損傷により、打ち替えや補修工事が多く実施され、その際に生じる交通規制やメンテナンス費用の増大等が社会的に大きな損失をもたらしている。このため、疲労損傷が生じにくい床版の開発が求められている。

また、都市部の高架橋や跨線・跨道橋などでは、床版施工用の足場や型枠支保工を設置するスペースが確保できない場合が多く、これら施工上の課題を解決でき、さらに施工の合理化に寄与できる床版の開発も要求されている。

著者らは、これらの要求を満足する床版として、鋼とコンクリートからなるサンドイッチ型複合床版を提案し、各種実験を行った結果、十分実用に供しうる構造であることを確認している^{1),2),3),4)}。

本研究では、サンドイッチ型複合床版とRC床版ならびにパーシャルプレストレスを導入したRC床版（以下、PRC床版と呼ぶ）に対し、同一条件で最大 392kN に及ぶ階段状荷重漸増方式による輪荷重走行実験⁵⁾を行い、これらを比較することによりサンドイッチ型複合床版の供用時疲労耐久性を検証したので報告する。さらに、本床版の疲労耐久性評価の考え方についても述べる。

なお、本実験は、建設省土木研究所、（財）土木研究センター、民間企業による「道路橋床版の輪荷重走行試験機における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究」の一環として実施したものである。

2. サンドイッチ型複合床版の概要

サンドイッチ型複合床版の概要を図-1に示す。本床版は、工場にて下鋼板（以下、底鋼板と呼ぶ）の橋軸直角方向にCT形鋼を溶接し、さらにCT形鋼のフランジ上に上鋼板（以下、デッキプレートと呼ぶ）を溶接により固定して、この鋼殻部を施工現場に搬入し、鋼桁上に架設後、鋼殻内に高流動コンクリートを充填することにより形成する。なお、鋼殻部の組立は、すべてすみ肉溶接により行う。

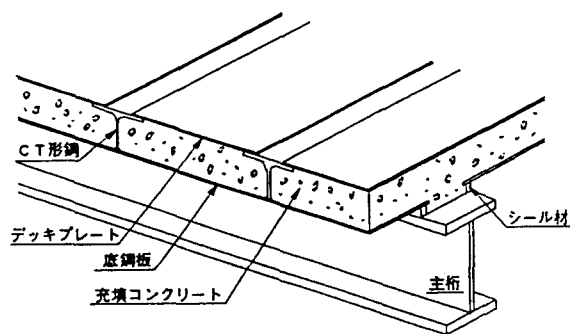


図-1 サンドイッチ型複合床版

また、床版パネル相互の橋軸方向の接合を行う継手部に関しては、図-2に示すように、床版鋼殻部架設後、床版パネル間の底鋼板同士を高力ボルト引張接合により連結し、デッキプレートをパネル端部のC T形鋼間に現場溶接により取付け、得られた鋼殻内に高流動コンクリートを充填することにより完成する。

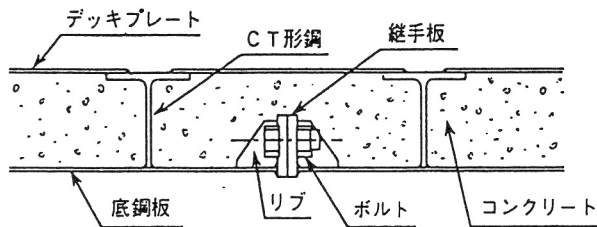


図-2 パネル間継手構造

本床版の特徴は以下の通りである。

- ① 鋼殻の拘束効果による中詰めコンクリートの強度増加ならびに中詰めコンクリートによる鋼殻の局部座屈抑制により、高耐荷力りが得られる。
- ② 床版の下面のみならず上面にも鋼板を有するので桁からの張出し長を大きく取れる。
- ③ コンクリートが鋼殻で覆われているので床版の疲労劣化を助長するコンクリートへの雨水の浸入がないほか、打設後のコンクリートの乾燥収縮およびクリープは普通コンクリートの1/2以下と小さい⁶⁾。
- ④ 床版用の足場、支保工ならびに型枠が省略できるほか、中詰めコンクリートに締固め不要の高流動コンクリートを採用しており、現地施工の迅速化が図れる。さらに、鋼殻へのポンプ充填により雨天時の打設も可能である。
- ⑤ 中詰めコンクリートにより、コンクリート系床版と同等の騒音・振動低減効果と凍結抑制効果⁸⁾が得られる。
- ⑥ 桁上において中詰めコンクリート充填前の鋼殻状態でも道路橋示方書⁹⁾記載のT荷重程度の施工車両が走行できるので⁷⁾、床版鋼殻部を有効に利用した架設施工法が採用できる。

3. 実験内容

3.1 供試体

供試体は、実大スケールとし、荷重条件をB活荷重⁹⁾とする床版支間3.0mの連続版で設計した⁵⁾。供試体の形状寸法は、図-3に示すように、橋軸直角方向(C T形鋼方向)2.8m、橋軸方向4.5m、床版厚218mm(コンクリート版厚200mm、上下鋼板厚9mm)である。

また、C T形鋼には200×200サイズ(ウェブ8mm、フランジ13mm)を用い、橋軸方向に875mmピッチで配置した。供試体中央にはパネル間継手として、引張ボルトF10T、M22を150mmピッチで配置した。デッキ

プレートの幅方向中央ラインにはスタッドジベルφ19mmを500mmピッチで配置した。

さらに、中詰めコンクリートに未充填部が形成された場合、疲労耐久性に与える影響を検証するため、空隙(橋軸直角方向400mm×橋軸方向160mm×深さ3mm)を移動輪荷重直下のデッキプレート下面に設けた。

使用した鋼板はすべてSS400材、中詰めコンクリートの設計基準強度は35N/mm²とした。材料試験の結果、実験開始時のコンクリートの圧縮強度は38.2N/mm²、ヤング係数は2.77×10⁴N/mm²であった。

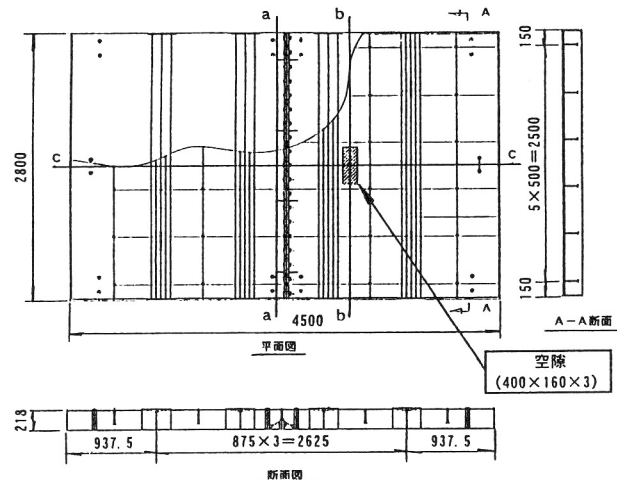


図-3 供試体形状

3.2 荷重方法

試験装置には、建設省土木研究所所有の輪荷重走行試験機⁵⁾を用いた。供試体の支持条件は、支間2.5mの単純支持とした。これにより、供試体の設計条件である床版支間3.0mの連続版に生じる支間中央の曲げモーメントと等価な曲げ力を供試体に与えることになる。一方、橋軸方向端部は横桁(H形鋼)で支持した。また、供試体上面の支間中央部橋軸方向に500×200mmの荷重ブロックを並べた。輪荷重は、このブロック上を幅500mmの鉄輪が±1.5mの範囲で移動する方式で導入させた。荷重状況を写真-1に示す。

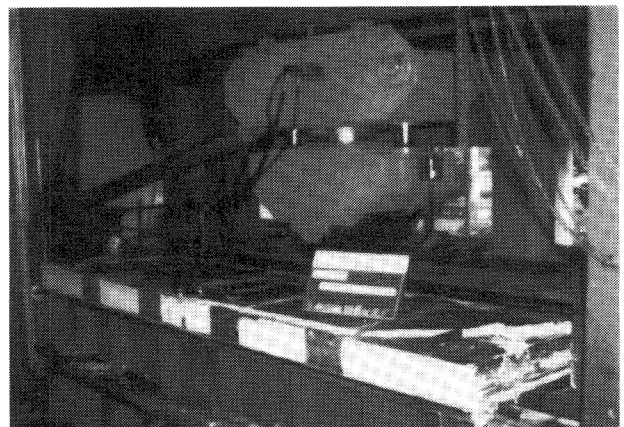


写真-1 移動輪荷重重載荷状況

載荷は、階段状荷重漸増方式とし、初期荷重 157kN から 4 万回走行毎に 20kN ずつ荷重を増加させ、供試体が破壊に至るまで、もしくは、載荷荷重が 392kN に達するまで実施した⁵⁾。

4. 実験結果

4.1 載荷荷重と走行回数との関係

階段状荷重漸増方式を適用した載荷荷重と走行回数との関係を図-4に示す。なお、図中の RC8 供試体⁵⁾とは、平成 8 年の道路橋示方書⁹⁾に準じて製作された現行の RC 床版（床版厚 250mm、コンクリート強度 27N/mm²）であり、PRC50 供試体⁵⁾とは、同道路橋示方書にてフルプレストレスで設計された PC 鋼材量に対し 50% 減じた PRC 床版（床版厚 230mm、コンクリート強度 57N/mm²）である。

サンドイッチ型複合床版と PRC50 供試体の結果は、共に最終荷重値 392kN かつ最終走行回数 52 万回に至っても疲労破壊しなかった。これに対し RC8 供試体は、荷重値 274kN かつ走行回数 25.6 万回で押し抜きせん断破壊が生じた。この結果から、サンドイッチ型複合床版は現行の RC 床版に比べて高い疲労耐久性を有するといえる。

4.2 供試体中央たわみと走行回数との関係

供試体中央たわみと走行回数との関係を図-5に示す。なお、図中の載荷時たわみとは、所定回数での静的載荷による床版鉛直たわみであり、除荷時のそれとは静的載荷後の除荷状態での残留たわみである。

サンドイッチ型複合床版のたわみは、最終荷重値 392kN かつ最終走行回数 52 万回に至るまで急激な増加現象は見られず、最終たわみ値は載荷時で 2.0mm、除荷時で 0.5mm であった。この値は、PRC50 供試体の最終荷重時たわみ 6.2mm の約 32%、最終除荷時たわみ 2.7mm の約 19% と小さな値である。この結果から判断すると、サンドイッチ型複合床版は、PRC 床版に比べて同等以上の疲労耐久性を有するものと考えられる。

4.3 継手部目開き量と走行回数との関係

供試体中央の継手部目開き量の静的測定結果と走行回数との関係を図-6に示す。

載荷時の継手部目開き量は安定的に推移しており、最終荷重段階においても 0.1mm 程度の小さな値であった。また、除荷時の目開き量は載荷開始から終了までほとんど生じていない。この結果から、引張ボルト接合を用いた継手部は、疲労耐久性上の弱点にならないことが明らかとなった。

4.4 底鋼板ひずみと走行回数との関係

供試体中央の底鋼板下面の橋軸直角方向ひずみの静

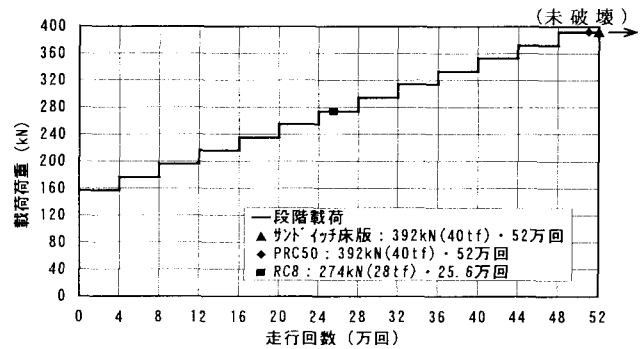


図-4 載荷荷重と走行回数との関係

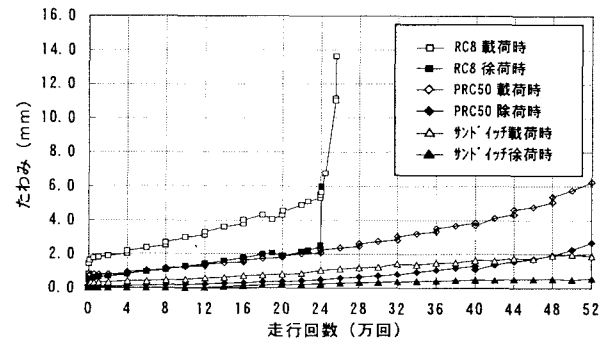


図-5 供試体中央たわみと走行回数との関係

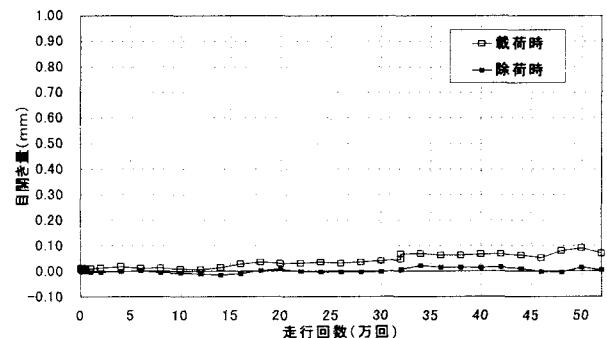


図-6 継手部目開き量と走行回数との関係

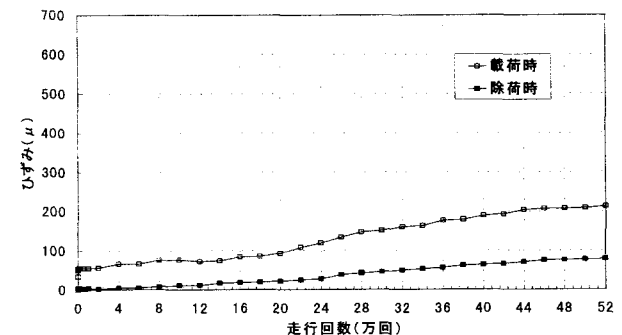


図-7 底鋼板の橋軸直角方向ひずみと走行回数との関係

的測定結果と走行回数との関係を図-7に示す。

載荷時のひずみは、載荷開始から終了まで荷重の増加とともに安定的に増加しており、疲労損傷によるひずみの急増や乱れは認められない。また、最終荷重値 392kN かつ最終走行回数 52 万回時点での載荷時ひずみは 210

μ程度、除荷時ひずみは85 μ程度であった。

4.5 デッキプレートひずみと走行回数との関係

ひずみゲージの損傷をさけるため、輪荷重走行範囲となる供試体幅中央から450mm橋軸直角方向に偏心した位置のデッキプレート上面の橋軸直角方向ひずみの静的測定結果と走行回数との関係を図-8に、同位置での橋軸方向ひずみの結果を図-9に示す。

図-8より、デッキプレートの橋軸直角方向のひずみは曲げ力により圧縮ひずみが生じていた。走行回数24万回付近で多少の乱れがあるものの、安定的に推移しており、最終荷重値392kNかつ最終走行回数52万回時点での載荷時ひずみは-100 μ弱、除荷時ひずみは-30 μ程度であった。

図-9より、デッキプレートの橋軸方向ひずみも橋軸直角方向と同様、載荷に伴う曲げ力により圧縮ひずみが生じていた。なお、除荷時のひずみ値が14万回載荷時点から引張側の値を示すが、これはデッキプレートが橋軸方向の曲げ圧縮を受けわずかに板曲げが生じた影響と考えられる。載荷時ひずみから除荷時ひずみを差し引いた値は、載荷終了段階で-50 μ程度と小さな値であった。

4.6 実験後供試体の損傷状況

実験終了後、供試体内部の状況を調査するために、図-3に示す切断線a-a, b-b, c-cに沿って供試体を切断した。この内、b-b, c-cラインは、デッキプレート直下の中詰めコンクリートの未充填形成部を横切る位置とした。

切断した結果、中詰めコンクリートにひび割れはほとんど生じておらず、コンクリートは健全な状態であった。また、デッキプレート下面に未充填形成部を設けた部分において、デッキプレートならびにデッキプレートとCT形鋼とのすみ肉溶接部を調査した結果、疲労亀裂は生じていなかった。

以上の結果から、サンドイッチ型複合床版は、今回の輪荷重走行実験において、疲労損傷は認められず健全な状態を保持していた。なお、破壊形態については、上述の結果により明らかにできなかった。

5. 疲労耐久性評価の考え方

今回実験を行ったサンドイッチ型複合床版の疲労耐久性評価として、鋼構造物の疲労設計指針¹⁰⁾に準じた累積損傷度則による疲労照査方法を検討する。疲労照査の手順を図-10に示す。各手順について以下に述べる。

5.1 疲労照査着目点の設定

今回の輪荷重走行実験において、サンドイッチ型複合床版は疲労破壊しなかった。よって、照査着目点を明確

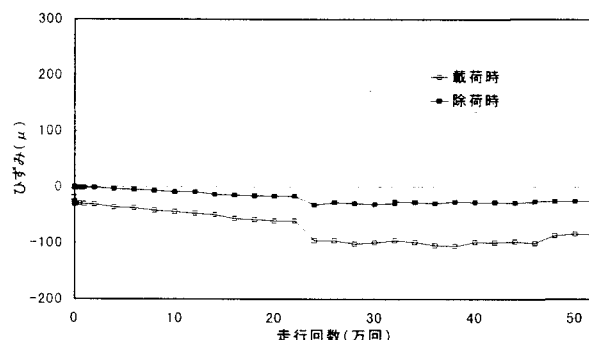


図-8 デッキプレートの橋軸直角方向ひずみと走行回数との関係

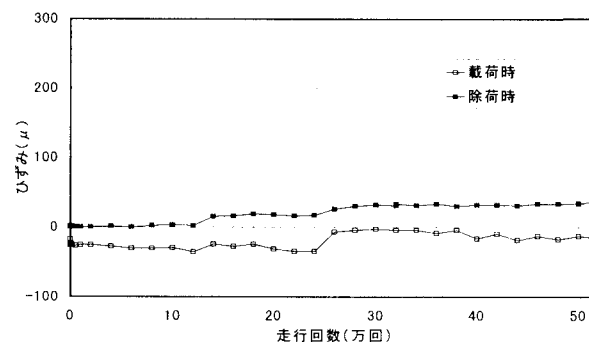


図-9 デッキプレートの橋軸方向ひずみと走行回数との関係

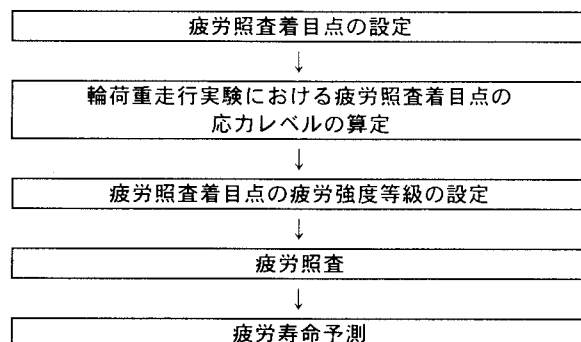


図-10 疲労照査の手順

にはできないものの、ここでは、橋軸方向の曲げモーメントにより圧縮力が作用するデッキプレートとCT形鋼との荷重伝達型すみ肉溶接部を疲労強度上、最も厳しい部位と仮定し、ここを照査の着目点とする。

5.2 疲労照査着目点の応力レベルの算定

輪荷重により生じる着目点の最大応力レベルを算定する。ただし、対象となる橋軸方向の曲げモーメント最大点は供試体中央の輪荷重走行位置となるため、ひずみゲージが貼付できず、当該部応力を直接実験結果から求めることはできない。よって、FEM解析により算定を行う。

FEM解析の方法を表-1に示す。輪荷重157kNと392kNは実験での初期荷重値と最終荷重値である。また、載荷面積は、実験に用いた載荷ブロック(橋軸直角方向

500mm×橋軸方向 200mm) から荷重が床版厚 218mm の 1/2 の面まで 45 度の角度で分散すると仮定した。断面定数は、鋼材とコンクリートとの弾性係数比を 10¹¹ とし、全断面有効の場合と曲げ引張側のコンクリートを無視した場合の 2 ケースとする。

表-1 FEM 解析方法

項目	内容
支持条件	橋軸方向：支間 2.5m で単純支持 橋軸直角方向：支間 4.5m で弾性支持
荷重	供試体中央鉛直下向きに 157kN と 392kN
載荷面積	橋軸直角方向 718mm × 橋軸方向 418mm
要素	シェル要素 (床版本体の異方性考慮)
断面定数 (n=10)	ケース 1：全断面有効 ケース 2：曲げ引張側コンクリート無視

FEM 解析から得られるたわみ値およびひずみ値と実験での値を比較し、断面定数としてどちらのケースが適切かを判断する。場合によっては実験途中の荷重値を作用させた解析も行い、コンクリートの劣化等の影響で荷重レベルにより断面定数を変えた方が妥当と判断できる場合には、その変化点 (荷重値, 載荷回数) を求める。

つぎに解析結果から、供試体に生じる橋軸方向の最大発生曲げモーメントを求め、これより、各荷重レベルでのデッキプレートと C T 形鋼とのすみ肉溶接部のど断面に作用する直応力を求める。

なお、今回の実験では継手部目開き量が小さいことから、継手部での異方性の影響は小さいと考えられる。しかし、解析値と実験値との比較で継手部の異方性が無視できない場合には、継手部に回転ばねを設定したモデルで解析を行う。このときの回転ばね値については、既往研究⁹⁾を参考とする。

5.3 疲労照査着目点の疲労強度等級の設定

鋼構造物の疲労設計指針¹⁰⁾に記載されている「重ね継手、前面すみ肉溶接のど断面破壊」の H 等級 (2×10⁶ 回基本許容応力範囲 Δσ_f=40MPa) とする。

5.4 疲労照査

今回の実験は、初期荷重 157kN から 4 万回走行毎に 20kN ずつ荷重を増加させる階段状荷重漸増方式である。このため、基本輪荷重を設定し、この荷重レベルに対する等価載荷回数を算定して評価する必要がある。

等価載荷回数はマイナーの線形被害則が成立すると仮定して(1)式により算定できる。

$$N_{eq} = \sum [P_i / P_0]^m \cdot n_i \quad \dots (1)$$

N_{eq} : 等価載荷回数

P_i : 載荷輪荷重

P₀ : 基本輪荷重

m : 両対数表示の S-N 曲線の傾きの絶対値

n_i : 載荷輪荷重の繰返し回数

ここで、(1)式の基本輪荷重 P₀ は、実験での初期荷重値 157kN とする。また、m の値は鋼構造物の疲労設計指針¹⁰⁾により 3 とする。なお、コンクリートの劣化等により実験途中で床版の断面定数が変化すると判断した場合には、輪荷重 (P_i, P₀) ではなく疲労照査着目点に生じる応力値 (S_i, S₀) を用いて算定する。

つぎに、(2)式に示す鋼構造物の疲労設計指針¹⁰⁾の等価応力範囲照査法を用いて疲労照査を行う。

$$\gamma_b \cdot \gamma_w \cdot \gamma_i \cdot \Delta \sigma_{eq} \leq [C_0 / N]^{1/m} \cdot C_R \cdot C_t \quad \dots (2)$$

Δσ_{eq} : 疲労照査着目点に生じる等価応力範囲

γ_b : 冗長度係数

γ_w : 重要度係数

γ_i : 検査係数

C_R : 平均応力補正係数

C_t : 板厚補正係数

C₀ : 疲労設計曲線の定数 (2×10⁶・Δσ_f^m)

Δσ_f : 2×10⁶ 回基本許容応力範囲

m : 疲労設計曲線の傾き

N : 繰返し回数

ここで、(2)式の平均応力補正係数 C_R は、着目点での応力が圧縮領域となることから、鋼構造物の疲労設計指針¹⁰⁾に準じ 1.3 とする。それ以外の係数は実験結果の照査であることからすべて 1.0 とする。疲労設計曲線の定数 C₀ は、Δσ_f を 40MPa (H 等級) として算定する。疲労設計曲線の傾き m は 3 とする。

以上を考慮の上、(2)式において、Δσ_{eq} の値に、FEM 解析により求めた初期荷重 157kN 作用時の照査着目点での発生応力を代入すると、疲労照査上許容できる繰返し回数が得られる。この回数 N と、(1)により求めた階段状荷重漸増載荷での等価載荷回数 n_i とを比較することにより、今回の実験で与えた載荷回数が許容繰返し回数に対してどの程度のレベルであったのかが推定できる。

5.5 疲労寿命予測

疲労寿命予測については、今回の実験供試体が疲労破壊していないことから、(2)式の等価応力範囲照査法の適用性が実現象として明らかにできていない。また、実橋ではランダムな輪荷重がランダムな位置を走行する、すなわち、輪荷重の確率密度が対象橋梁により異なるため、サンドイッチ型複合床版の一般的な寿命を予測するのは困難である。よってここでは、等価応力範囲照査法が本床版に適用できると仮定し、さらに、等価応力範囲を与える自動車荷重を既往文献¹²⁾を基に推定して疲労寿命予測の方法を考えてみる。

(1) 等価応力範囲を与える大型車重量

都市内高速道路および一般道路で計測された大型車重量頻度分布から求まる大型車重量値¹²⁾より、現状の上限値として道路橋示方書⁹⁾記載の T 荷重を与える設計自動車荷重 (車両重量 245kN) が妥当と判断できるため、

これを等価大型車1台の重量とする。

(2) 衝撃係数

実測値の平均値¹²⁾を参考に道路橋示方書⁹⁾記載の衝撃係数の1/2とする。なお、桁端部以外の衝撃は小さいとの考え方もあり、場合によっては衝撃を無視することも考えられる。

(3) 載荷台数

載荷台数を考える場合、車線内ならびに隣接車線の車両連行の影響を考慮する必要がある。しかし、等価応力範囲を与える大型車が隣接する確率は小さいと考え、載荷台数は1台とする。なお、大型車混入率が極めて高く、車両連行の影響を考えた方が妥当と判断できる場合には、既往研究¹²⁾を参考に考慮する必要がある。

(4) 載荷位置

疲労照査着目部(デッキプレートとCT形鋼とのすみ肉溶接部)に最も大きな応力変動が作用する位置とする。

(5) 載荷回数

対象路線の交通量調査を基に設定する。一般的には1日1車線当たりの等価大型車交通量から100台~10,000台¹²⁾の範囲で設定する。

(6) 等価応力範囲照査に適用する各係数

サンドイッチ型複合床版を対象とした場合の(2)式に用いる各係数には以下の値を用いる。

① 冗長度係数 γ_b : 0.8

デッキプレートとCT形鋼とのすみ肉溶接部に亀裂が生じて床版全体の強度あるいは機能に与える影響は小さいと考えた。

② 重要度係数 γ_w : 1.0

③ 検査係数 γ_i : 1.1

照査着目点は舗装に覆われており検査できないと考えた。

④ 平均応力補正係数 C_R : 1.3

圧縮領域での応力変動を考慮。

⑤ 板厚補正係数 C_t : 1.0

疲労寿命予測の対象となる橋梁について、解析モデル(断面定数は今回の実験結果を参考に設定)を構築し、このモデルに上述の(1)~(4)を考慮した等価大型車荷重を作用させる。これより疲労照査着目点に生じる等価応力範囲 $\Delta\sigma_{eq}$ を求め、これを(2)式に代入する。さらに上記(6)の各係数、ならびに、 C_0 、 m (5.4節参照)の値を(2)式に代入することにより、等価応力範囲に対する許容繰返し回数 N が算定できる。この N を上述の(5)で設定した等価大型車の日交通量で除することにより寿命(日数、さらに365日で除せば年数)が求まる。

なお、5.4節において、今回の実験で与えた載荷回数が許容繰返し回数に対してどの程度の割合であったのかが推定できることを述べた。この許容繰返し回数は、疲労寿命を与える回数であり、これより、今回の実験は疲労寿命の何割分(前述より疲労寿命の年数が推定できれば何年分)を載荷したのかが推定できる。

6. おわりに

サンドイッチ型複合床版は、階段状荷重漸増方式を用いた輪荷重走行実験において、載荷荷重392kNかつ走行回数52万回に至るまで、床版のたわみや各部のひずみに疲労損傷につながる増加現象は認められず安定的に推移していた。また、本床版は、同様の載荷を行った現行のRC床版と比べて高い疲労耐久性を示し、PRC床版と比べても同等以上の疲労耐久性を示した。以上の結果から、サンドイッチ型複合床版が供用時において十分な疲労耐久性を有することが明らかとなった。

また、サンドイッチ型複合床版の疲労照査の考え方も述べた。これを基に疲労耐久性の評価方法を検討中である。なお、合成床版には種々の構造形式があり、その疲労特性を適切に表現できる照査方法を採用すべきである。今回述べた照査方法は一例にすぎないが参考として頂ければ幸いである。

謝辞: 本研究においてご指導を賜りました建設省土木研究所、(財)土木研究センターおよび「道路橋床版の輪荷重走行試験機における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究」に携わる関係者の皆様に感謝致します。

参考文献

- 1)阿部幸夫, 柳本泰伴, 井澤衛, 中川敏之: サンドイッチ型複合床版の力学的挙動, 鋼構造年次論文報告集, 第4巻, pp.477-484, 1996.11.
- 2)松井繁之, 池田良介, 阿部幸夫, 柳本泰伴, 井澤衛: サンドイッチ型複合床版の移動輪荷重に対する疲労強度特性, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, I-A171, pp.340-341, 1997.9.
- 3)阿部幸夫, 柳本泰伴, 井澤衛: サンドイッチ型複合床版の継手部に関する研究, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp.241-246, 1998.11.
- 4)阿部幸夫, 奥井義昭, 張俊業, 長井正嗣, 井澤衛: サンドイッチ型複合床版付き合成桁の曲げ耐力性能に関する研究, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1583-1592, 2000.3.
- 5)建設省土木研究所: 道路橋床版の輪荷重走行試験機における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その1), 共同研究報告書第221号, 1999.
- 6)阿部幸夫, 井澤衛: サンドイッチ型複合床版に充填する高流動コンクリートのクリープおよび収縮性状(続報), 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, CS-197, pp.394-395, 1999.9.
- 7)阿部幸夫, 井澤衛, 由井洋三, 中川敏之: サンドイッチ型複合床版の中詰めコンクリート充填前鋼殻状態の疲労強度特性, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, CS-173, pp.346-347, 1999.9.
- 8)井澤衛, 齊藤浩, 阿部幸夫, 中川敏之: サンドイッチ型複合床版の冬期凍結性調査, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集, CS-272, 2000.9.
- 9)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1996.12.
- 10)日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 1993.
- 11)土木学会: 鋼構造物設計指針 PARTB 合成構造物, 第3編 合成床版編, 1997.
- 12)土木学会 鋼構造委員会 新技術小委員会 設計法ワーキンググループ: ロングライフブリッジへの道(上), 橋梁と基礎, 97-7, pp.23-31, 1997.7.