

橋の疲労設計に関する研究

共同研究グループ代表
大阪大学工学部 松井繁之

1. はじめに

諸外国の橋の設計基準は限界状態設計法または荷重係数設計法を採用し、橋の限界状態の中の1つとして疲労限界を取り上げ、疲労設計に関する規定を設けている。そして、現在各設計条項の妥当性の検討が進められている。さらに、疲労設計法の国際標準を作成する作業がISO（国際標準化機構）によって進められている。

このような世界的状況において、本共同研究グループは、土木学会関西支部調査研究委員会「鋼橋の終局強度・疲労設計法委員会」疲労設計法分科会による平成元年度・平成2年度の研究成果を受け、道路橋の鋼部材の疲労のみならず、コンクリート床版の疲労、合成桁のずれ止めの疲労、コンクリート橋の疲労、鉄道橋の疲労等を含めて、あらゆる橋に対応でき、かつ国際的な比較にも耐えうる疲労設計指針を提案することを研究目的としている。

2. 活動状況

平成3年度は、各委員の疲労に関する知識を向上させるために、主に研究グループの開催を疲労の勉強に充てた。グループ全員が各自話題提供を行い、活発な討議を行った。この結果、コンクリート系部材（合成構造・床版を含む）の疲労設計を鋼橋のそれと同様な方法で確立することはかなり難しいとの認識に至り、鋼橋の疲労設計に関する班とコンクリート系部材の疲労設計に関する班に研究グループを分け、それぞれの班で研究活動を進めることになった。隔月ごとに両者合同の委員会を開催し、両者の意見交換を通して、鋼橋、コンクリート橋を問わずあらゆる橋に対応できる疲労設計指針の作成を志す。

3. 鋼橋の疲労設計の活動計画

土木学会関西支部調査研究委員会「鋼橋の終局強度・疲労設計法委員会」疲労設計法分科会において、改良2次モーメント法に基づいて疲労設計フォーマットが鋼橋に対して次のように作成された。

$$r_R \Delta \sigma_R \geq r_Q \Delta \sigma_Q \quad (1)$$

ここに、 r_R ：疲労強度に関する部分安全係数、 r_Q ：設計等価応力範囲に関する部分安全係数、 $\Delta \sigma_R$ ：許容疲労応力度範囲、 $\Delta \sigma_Q$ ：設計等価応力範囲。

設計等価応力範囲 $\Delta \sigma_Q$ は次式で与えられる。

$$\Delta \sigma_Q = \mu_a \mu_z \Delta \sigma_a \quad (2)$$

ここに、 $\Delta \sigma_a$ は疲労設計荷重に対して算出される設計応力範囲であり、 μ_a と μ_z は次の通りである。

μ_a は、次式で与えられる、設計寿命期間中に現れる最大応力範囲 $\Delta \sigma_{max}$ と設計応力範囲 $\Delta \sigma_a$ の関係を与える変数 a の平均値である。

$$\Delta \sigma_{max} = a \Delta \sigma_a \quad (3)$$

さらに、変数 a は3つの変数の積として次のように与えられる。

$$a = a_1 a_2 a_3 \quad (4)$$

ここに、 a_1 ：慣用設計において算出される応力を実応力に関係付ける変数、 a_2 ：衝撃係数に関連する変数、 a_3 ：最大応力範囲を生じさせる実荷重を疲労設計荷重に関連付ける変数。

μ_z は、次式で示されるように、等価応力範囲 $\Delta \sigma_Q$ と設計応力範囲 $\Delta \sigma_a$ を関連付ける変数 z の平均値

Shigeyuki MATSUI

である。

$$\Delta \sigma_s = a_z \Delta \sigma_d$$

(5)

変数 z は、変動応力スペクトル（応力頻度分布）の形状に依存する変数である。

これらの変数の中で、変数 a_1 と z に対してその推定式を確立することを次年度の研究目標とする。

通常の設計では、高欄、対傾構、横構などの2次部材の剛性が考慮されていない。さらに、コンクリート床版の荷重分配作用も考慮されていない。したがって、 a_1 は、普通1より小さい値を取る。3次元有限要素法解析から得られる応力と通常の設計で得られる応力を比較することにより、 a_1 の推定式を確立する。

シミュレーション法で与えられる交通荷重に対して変動応力スペクトルを求め、変数 z の推定式を誘導する。

実橋の応力実測を行い、得られた結果から変数 a_1 と z に対する推定式の妥当性を検討する。

さらに、本研究の成果に基づいて、疲労設計のためのエキスパートシステムを構築する予定である。

4. コンクリート系部材の疲労設計の活動計画

従来、許容応力度設計法に基づいてコンクリート系部材を設計する場合、繰返し荷重から発生する変動応力範囲が死荷重から生じる応力より相対的に小さいため、疲労を照査する必要はないとの考え方が一般的であった。しかし、昭和61年制定のコンクリート標準示方書（土木学会）に見られるように、コンクリート構造物の安全性評価を高めるために限界状態設計法が全面的に採用され、疲労限界に関する照査規定が設けられるようになった。

これまでの委員会活動を通して、次の理由からコンクリート系部材の疲労設計法を鋼橋と同様な方法で確立することはかなり困難であることが判明した。a) コンクリート系部材はひび割れ発生などにより、破壊に至るまで構造系が順次変化する。b) 疲労強度の表現法（特に、疲労曲線の縦軸）が鋼部材と全く異なっている場合（一般に、上限応力／静的強度）がある。c) 実働荷重による不規則な応力波形を独立波の繰返しに換算する方法（応力頻度解析法）が、鋼橋で一般に採用されている方法と異なっている。

そこで、コンクリート系部材の疲労設計に関する班では、信頼性理論に基づいてコンクリート系部材の疲労設計フォーマットを確立することを次年度の研究目標とする。具体的な研究事項は次の通りである。

①疲労試験データの収集および整理。

②疲労設計フォーマットの設定。

現時点では、疲労設計フォーマットとして、 $r_R \cdot \sigma_{dR} \geq r_Q \cdot \sigma_{dQ}$ の形式を想定している。ここで、 r_R ：設計疲労強度に関する部分安全係数。 r_Q ：設計等価応力に関する部分安全係数。 σ_{dR} ：設計疲労強度〔コンクリート・スタッド・床版は上限応力比（上限応力／静的強度）、鉄筋・PC鋼材は、通常の鋼材と同様、応力範囲〕。 σ_{dQ} ：設計等価応力比または設計等価応力範囲。

③破壊確率 P_f あるいは安全性指標 β に基づいた部分安全係数 r_R 、 r_Q の決定法の確立。

④現行のコンクリート標準示方書（土木学会）との整合性の確認。

委員構成

松井繁之（大阪大学）、大倉一郎（大阪大学）、大谷恭弘（大阪大学）、文兌景（大阪大学）、鈴木博之（大阪大学）、鬼頭宏明（大阪市立大学）、平城弘一（摂南大学）、黒山泰弘（大阪市）、指吸政男（大阪市）、澤登善誠（阪神高速道路公団）、宮脇廣喜（西日本旅客鉄道）、祝賢治（三井造船）、小野誠大（高田機工）、神原康樹（駒井鉄工）、八田吉弘（オエン外建設）、広瀬彰則（中央復建コンサルタンツ）、藤岡靖（ビーエスコンクリート）、武藤和好（酒井鉄工所）、石原靖弘（片山鉄工所）、水越陸見（大阪セメント）