

信頼性解析による断面性能低下・活荷重増大を考慮した鋼桁の安全性照査

○本州四国連絡橋公団 正会員 山田郁夫

1．はじめに

本州四国連絡橋の海峡部長大橋では死荷重を軽減するために、鋼床版が採用されている。塗装仕様として長期防錆型塗装（塗膜厚の合計 250 μm）を使用しているが、海峡部の厳しい腐食環境に暴露されており、全面的な塗替塗装も実施されている。

本報告では、飛来塩分が多くかつ雨水によって流れにくい鋼床版の縦桁（下フランジ）に腐食が発生した場合の応力度照査を実施するとともに、信頼性解析による安全性照査を実施した。その結果、鋼床版の縦桁（下フランジ）の損傷が大きくない場合には安全性が急激には低下しないことが確認された。

2．鋼桁の応力度照査

鋼床版の断面図を図 - 1 に示す。縦桁は支間 10m、間隔 3.5m で配置されている。実際は数径間連続の構造であるが、安全側に単純梁として解析を行った。

荷重は、死荷重として鋼床版及び舗装の自重を考慮する。活荷重は現行の道路橋示方書 B 活荷重の T 荷重（輪荷重 100kN）が縦桁の直上に載荷された場合を想定する。衝撃係数も道路橋示方書に従い鋼橋の場合より 0.333 とする。これらの荷重による支間の L/4 点及び L/2 点における曲げ応力度を算出する（図 - 2 参照）。

縦桁（下フランジ）の腐食に伴う断面性能の低下を考慮して、上記の条件で曲げ応力度を算出した結果を表 - 1 に示す。支間の L/4 点及び L/2 点における曲げ応力度は、ケース 5 の L/2 点を除き許容応力度 140MPa(SS400)以下である。ただし、ねじれ変形や局部座屈等は無視し、疲労による損傷はないものと仮定した。

3．鋼桁の安全性照査

（1）二次モーメント法による信頼性解析

強度 R と荷重 S がそれぞれ正規分布と仮定できる場合に、二次モーメント法を適用すると、強度 R から荷重 S を減じた確率変数 Z の確率密度関数 f (Z) より、信頼性指標 β は確率密度関数の平均値 Z m を標準偏差 σ z で除した次式で表現できる(図 - 3 参照)。

$$\beta = Z_m / \sigma_z \quad \dots\dots\dots (式 1)$$

破壊確率 P f は、Z の確率密度関数 f (Z) が負の領域の面積として、次式のように確率密度関数 f (Z) を積分して得られる。

$$P_f = \int_{-\infty}^0 f(Z) dz \quad \dots\dots\dots (式 2)$$

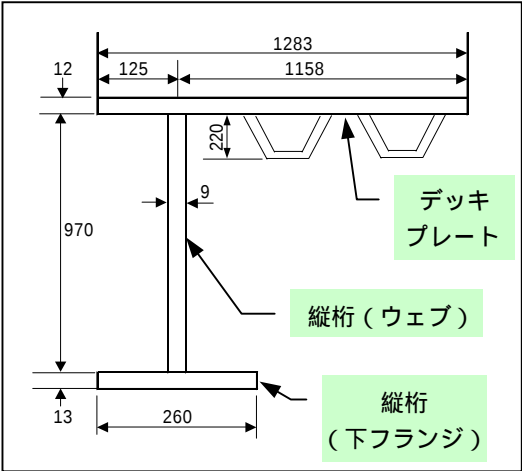


図 - 1 鋼床版の断面図（一部）

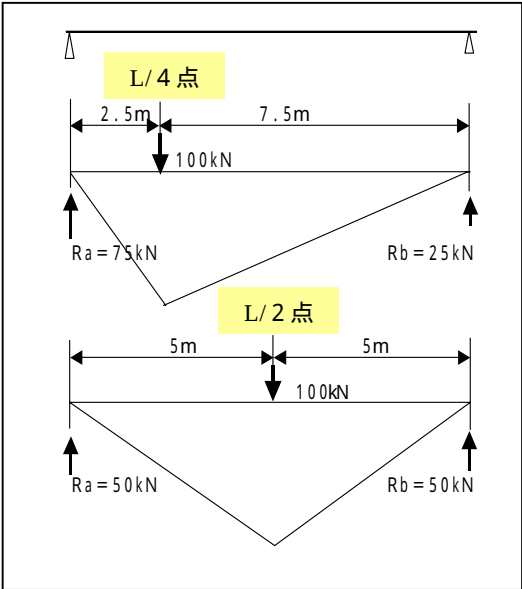


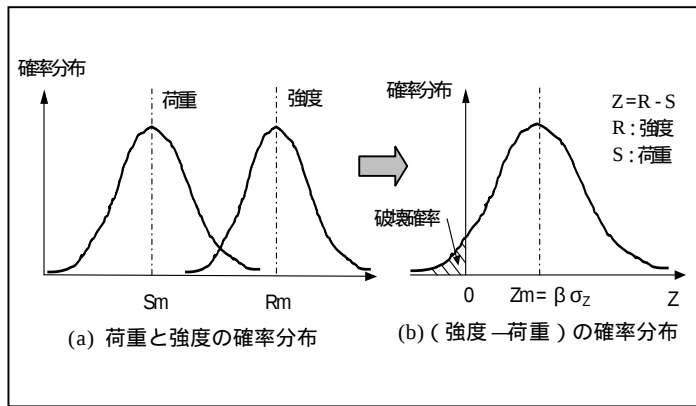
図 - 2 鋼床版縦桁の活荷重載荷位置

ケース	下フランジ板厚 (mm)	縦桁断面面積 (cm ²)	縦桁断面係数 (cm ³)	L/4点の曲げ応力度 (MPa)	L/2点の曲げ応力度 (MPa)
1	13	353	5464	57	72
2	9	343	4540	69	86
3	6	335	3858	81	101
4	3	327	3175	98	122
5	0	320	2486	125	156

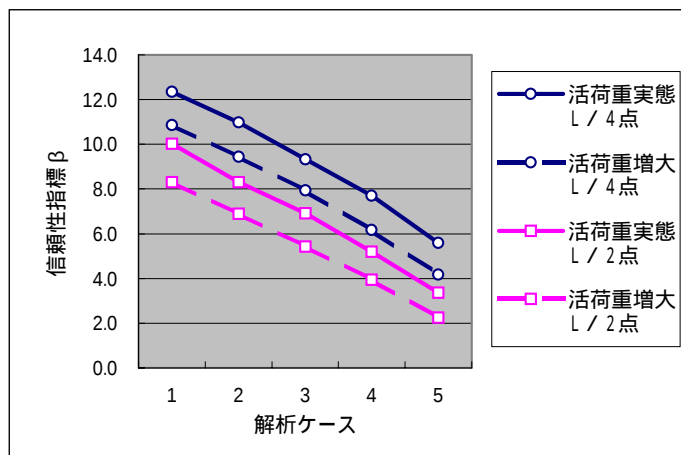
表 - 1 鋼床版縦桁の応力度照査結果

キーワード：鋼桁、断面性能、活荷重、信頼性解析、安全性照査

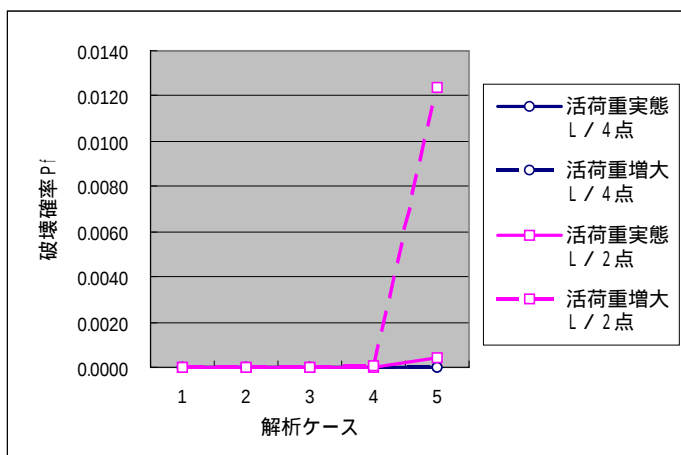
連絡先：〒655-0047 神戸市垂水区東舞子町 4-115、TEL 078-782-5400、FAX 078-782-9970



図—3 信頼性解析の概念図



図—4 鋼床版縦桁の信頼性解析結果（信頼性指標）



図—5 鋼床版縦桁の信頼性解析結果（破壊確率）

（２）モンテカルロ・シミュレーションを使用した信頼性解析

活荷重は一般に確率分布の変動係数が大きく、長期的に増大する傾向がある。そこで、活荷重の実態調査データを基本として、活荷重の増大を考慮し、正規乱数を発生させたモンテカルロ・シミュレーションによる信頼性解析を実施した。

荷重は、死荷重として鋼床版及び舗装の自重を考慮した。活荷重の実態調査は平成2年度に瀬戸大橋で車種別に実施されている。その中で普通貨物車の中型3軸のタンデム軸が最も大きく、輪荷重として平均値 82kN、標準偏差 21kN、変動係数 0.25 を用いた。この活荷重実態及び活荷重増大（B活荷重相当、平均値 100kN、標準偏差 25kN、変動係数 0.25）を解析の条件とした。衝撃係数は道路橋示方書に従った。一方、強度は降伏応力度 235MPa(SS400)とし、既往の製造実績より変動係数 0.05 を考慮した。

モンテカルロ・シミュレーションによる解析結果を図—4及び図—5に示す（解析ケースは表—1と同様）。汎用ソフトによる解析のため乱数の発生回数は1万回とした。図—4より、鋼床版縦桁のL/4点ではすべて解析ケースで活荷重実態及び活荷重増大を用いた場合でも信頼性指標が4.2以上と大きくなっている。一方、L/2点では解析ケース5において活荷重実態の場合で信頼性指標 3.4、活荷重増大の場合で信頼性指標 2.3と小さくなっている。

また、図—5より、解析ケース1から4までは0.0001以下であるが、解析ケース5のL/2点では活荷重実態の場合で破壊確率が0.0004、活荷重増大の場合では破壊確率0.0124と大きくなっている。

以上より、解析ケース1～4の場合は、信頼性指標が大きく、十分な安全性があることが判明した。また、解析ケース5は、鋼床版の縦桁（下フランジ）がない状態であり、現実の維持管理で考慮する必要はないと考えられる。

4. おわりに

鋼床版縦桁の断面性能低下及び活荷重増大を考慮した安全性照査を信頼性解析によって実施した。その結果、大きな断面欠損がなければ、安全性は特に問題とならないことが確認できた。今後、このような解析方法は、鋼構造物の塗膜劣化・鋼材腐食の問題、またコンクリート構造物の劣化の問題にも適用できると考えられる。最後に、本検討を実施するに当たり、ご指導をいただいた京都大学大学院渡邊英一教授に謝意を表明する次第である。