

合成桁における水平補剛材一段最適取付け位置の提案

中央大学理工学部土木工学科 学生会員 ○石原 弘隆
 中央大学理工学部土木工学科 学生会員 中本 啓
 中央大学理工学部土木工学科 学生会員 星井 秀之
 中央大学理工学部土木工学科 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

プレートガーダー腹板の補剛設計は定型化されている。しかし、今日のシミュレーションの進歩、信頼性理論の進展の状況下で異なった視点での議論が可能となってきた。道路橋示方書によると、プレートガーダー橋に垂直補剛材及び水平補剛材を一段用いる場合、水平補剛材一段の取付け位置は腹板高さの上側から20%となっている。既往の研究³⁾では、水平補剛材によって分けられる上下パネルの信頼性のバランスは最適とは言えず、改善の余地がある事が提案されている。本研究では、活荷重シミュレーションを行い、曲げとせん断の相関に配慮しつつ、弾性域内、後座屈挙動まで考え、水平補剛材一段の最適取付け位置を検討する。

2. 解析の概要

2.1 弾性域内に限定した解析

弾性限界を限界状態と設定する時、上下どちらか一方のパネルが局部座屈する時を破壊と定義する。上側パネルの限界状態関数は式(2.1.1)であり、図化すると図-2の外側の楕円形で描く事ができる。下側パネルの限界状態関数は式(2.1.2)であり、図化すると図-2の内側の楕円形で描く事ができる。限界状態関数に登場する β は、図-1に示されているように水平補剛材の上側からの位置を表すパラメータである。

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{3650/\beta^2} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{810/\beta^2 + 610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 \quad (2.1.1)$$

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{3650/(1-\beta)^2/(1-2\beta)} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{810/(1-\beta)^2 + 610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 \quad (2.1.2)$$

2.2 後座屈挙動まで配慮した解析

後座屈挙動下では、下側パネルを先行させて座屈すると仮定し、その条件化で上側パネルが局部座屈する時を破壊と定義する。下側パネルを先行座屈させる理由として、小松のまとめ⁶⁾によると下側パネルの座屈により塑性化した後の斜張力が重要な役割を担っているからであ

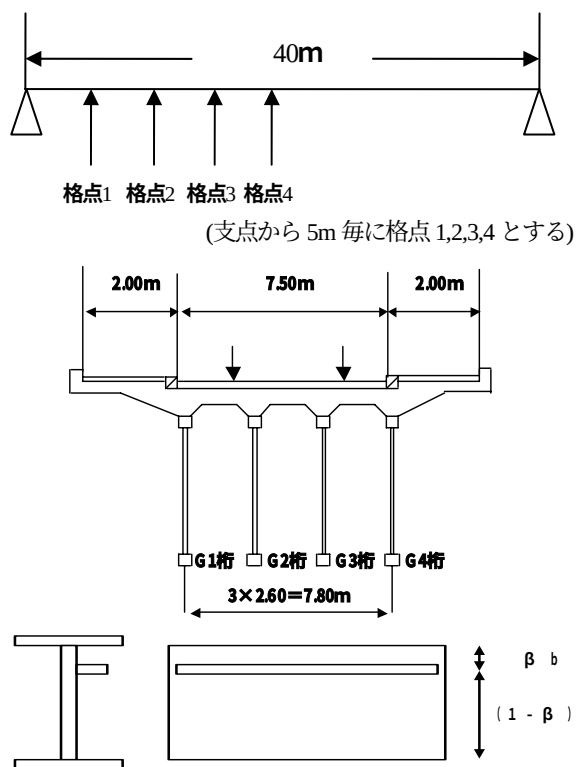


図-1 構造モデル

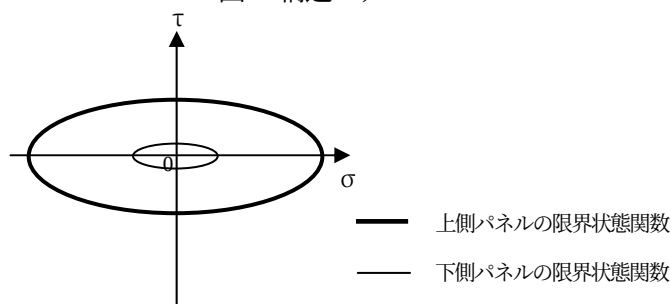


図-2 $\beta=0.2$ の局部座屈の限界状態関数

る。一般的に斜張力による応力再分配が起こる事により、終局耐力が増加すると考えられている。本解析では、下側パネルが先行座屈する範囲($\beta=0.20\sim0.35$)において行うものとする。下側パネルが塑性化した後の上側パネルの限界状態関数は式(2.2.1)である。

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma_1 + 2(1+\beta-\sqrt{2\beta})\Delta\sigma}{3650/\beta^2} \right)^2 + \left(\frac{\tau_1 + (1/\beta)\Delta\tau}{810/\beta^2 + 610(b/a)^2} \right)^2 \right] \leq 1 \quad (2.2.1)$$

3. 活荷重シミュレーション

活荷重シミュレーションとは、橋梁にかかる車両荷重を乱数により発生させ、橋梁上にその荷重を載荷し、発生させた車両荷重と着目断面における断面力の影響線から断面力を求める方法である。道路橋で実測された交通量の解析データを元に活荷重シミュレーションを行う。なお、計算は単純モンテカルロ法（以下 MCS）とマルコフチェーン MC（以下 MCMC）を実行した。

4. 解析結果

4.1 弾性域内に限定した破壊確率

MCS を用いた解析結果の一部として、G1 桁の結果を表-1 に示し、MCS と MCMC を用いた解析結果の比較の一部として、G2 桁の結果を表-2 に示す。

4.2 後座屈挙動まで配慮した破壊確率

「下側パネルが先行座屈する」という条件の下で「さらにその中で上側パネルが座屈する」割合を近似的に「条件付確率」を利用して破壊確率を求める。この条件下での発生応力に対して式(2.2.1)を適用する事となるが、下側パネルが座屈した後のサンプルは、弾性域内で発生させた応力の確率分布で表現する事は妥当とは言えない。下側パネルが先行座屈し、斜張力場の形成による応力再分配が起こる事から、終局耐力が増加すると考えられる。従って、後座屈挙動下のシミュレーションに適用する応力の確率分布は、弾性域内で発生させた応力の確率分布の弾性破壊付近より大きな応力の部分(図-3 の斜線部分)のみに着目した確率分布と相似形になるような確率分布を与えるのが妥当である。以上の条件下で、MCS を用いて破壊確率を算定する。その際、式(2.2.1)の σ_1 、 τ_1 は下側パネル座屈時の応力であり、 $\Delta \sigma$ 、 $\Delta \tau$ は先に述べた確率分布に従うような応力増分とする。また、解析は下側パネルが先行座屈する範囲 ($\beta=0.20\sim0.35$) で 0.01 刻みに変化させた。MCS を用いた解析結果の一部として、格点 1 の G1 桁の結果を表-3 に示し、格点 4 の G1 桁の結果を表-4 に示す。ただし、Pf1 は下側パネルが座屈する破壊確率、Pf2 は下側パネルが先行座屈するという条件で上側パネルが座屈する破壊確率であり、後座屈挙動まで配慮した破壊確率 Pf は、近似的に条件付確率として Pf1 と Pf2 の積をとる事で求める事にする。

5. おわりに

解析の結果、各格点、各桁における弾性域内に限定、後座屈挙動まで配慮した破壊確率は、現行位置 ($\beta=0.20$) より下げる事で小さくなり、下げるのが望ましいと言える。弾性域内に限定した場合、上下パネルどちらか一つ

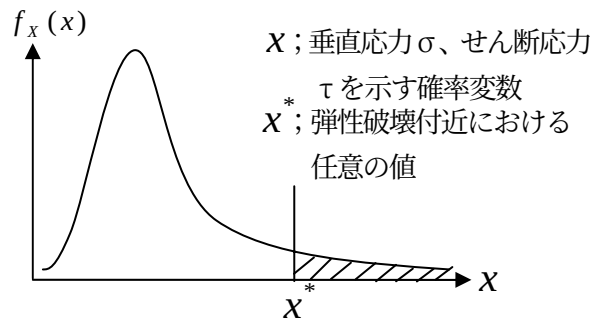


図-3 弾性域内で発生させた応力の確率分布

表-1 MCS を用いた弾性域内に限定した破壊確率

	G1 桁			
	格点1	格点2	格点3	格点4
現行位置 β	0.2	0.2	0.2	0.2
破壊確率 Pf	0.121463	0.186675	0.167822	0.173131
最適位置 β	0.44	0.41	0.39	0.38
破壊確率 Pf	3.16E-03	7.25E-03	4.27E-03	3.47E-03

表-2 MCS と MCMC の弾性域内に限定した比較

G2 桁における破壊確率の比較				
	MCS		MCMC	
	最適 β	Pf	最適 β	Pf
格点1	0.42	3.04E-02	0.42	1.30E-02
格点2	0.39	5.66E-02	0.39	4.30E-02
格点3	0.37	5.40E-02	0.37	3.20E-02
格点4	0.36	5.83E-02	0.36	3.00E-02

表-3 MCS を用いた後座屈挙動化まで配慮した破壊確率

β	Pf1	Pf2	Pf
0.2	0.149947	5.21E-02	7.81E-03
0.25	7.04E-02	0.130834	9.21E-03
0.3	2.38E-02	0.279285	6.64E-03
0.35	4.15E-03	0.509309	2.11E-03

表-4 MCS を用いた後座屈挙動化まで配慮した破壊確率

β	Pf1	Pf2	Pf
0.2	0.191422	7.82E-03	1.50E-03
0.25	6.53E-02	3.67E-02	2.39E-03
0.3	7.14E-03	0.151468	1.08E-03
0.35	9.20E-05	0.647137	5.95E-05

の限界状態関数を満足しない時に破壊と考えるため、位置を下げ下側パネルの限界状態関数に余裕を与える事により、破壊確率は小さくなると考えられる。後座屈挙動下では、Pf2 は現行位置で破壊確率を最小化するが、Pf1 の破壊確率の影響が大きいため、条件付確率として求めた破壊確率は位置を下げる事で小さくなると考えられる。

参考文献

- 1) 星谷 勝、石井 清：「構造物の信頼性設計法」 鹿島出版会
- 2) 社団法人 日本道路協会：「道路示方法書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編」 森北出版株式会社
- 3) 笠井 良真：「MCMC を用いた水平補剛材一段最適取付け位置の提案」 関東支部技術研究発表会 2007
- 4) 土木学会：「座屈設計ガイドライン 鋼構造シリーズ 2」
- 5) (社) 日本道路協会、橋梁委員会、総括小委員会、限界状態設計法分科会、荷重検討班：「限界状態設計法分科会荷重検討班第二次報告書」
- 6) 小松定夫：「鋼構造の補剛設計」 森北出版