

I-110

多数の補剛材を有する腹板の座屈安定性照査に関する研究

大阪産業大学工学部 正員 小松定夫 岐阜大学工学部 正員 奈良 敬
 阪神高速道路公団 正員○中林正司 正蓮寺川橋梁JV 正員 奥田嘉久

1. 緒言 阪神高速道路公団の高速湾岸線が正蓮寺川を渡る地点において、3径間連続変断面鋼箱桁橋(118.5m+235.0m+179.4m)の架設が計画されている。その中央径間は鋼箱桁橋としては最大級であり、設計架設にあたっては十分な安全性の検討を必要とする。本橋の腹板に着目すると、ほぼ等間隔に配置された垂直補剛材およびダイヤフラムに対し、水平補剛材は1本から5本までその本数が変化して配置されている。したがって、腹板の座屈安定性照査を行うには、補剛材等で囲まれた単一パネルについて面内組合せ応力を受ける場合の検討はもちろんのこと、腹板全体について座屈安定性の検討を行うことが必要であるが、明確な規定がないため実務設計上大きな問題点となった。本橋の基本設計においては、Chwallaの弾性座屈相関式と相当応力度の考え方より誘導される理想相当座屈応力度に、道路橋示方書の圧縮補剛板の基本耐荷力曲線を導入した簡易座屈照査法¹⁾が採用されている。しかし、実際にはこれらの腹板は弾塑性有限変位挙動を呈して破壊に至るものであるから、極限強度に対して定量的に厳密な安全性の照査を行うことが重要である。

本研究は、弾塑性有限変位理論に基づいた数値計算法を用いて、本箱桁橋の中間支点近傍における高さ約9.4mの腹板ならびに上記の簡易照査法で算出された安全率が比較的低い単一パネルを含む腹板パネル、補剛板パネルおよび単一パネルの座屈安定性を照査し、座屈に対する安全性を確認することを目的とする。

2. 解析モデル 弾塑性有限変位理論に基づき、Hybrid displacement modelにより定式化された有限要素法を適用した数値計算法を適用する^{2), 3)}。幾何学的ならびに材料力学的非線形性の取り扱い方については文献⁴⁾による方法を応用した。**(1) 断面寸法に関するパラメータ** 座屈安定性の照査を行う腹板を対象とし、境界で周辺単純支持された補剛板を解析モデルに用いる。ただし、寸法諸元については実橋と同じ値を用いる。**(2) 初期不整に関するパラメータ** 板パネルおよび水平補剛材の初期たわみの最大値は、道路橋示方書の製作誤差の許容値とする。解析にあたって導入する残留応力の分布形状と大きさは補剛板の実物大模型実験⁵⁾の結果を参考にした。**(3) 面内力の組合せに関するパラメータ** 設計荷重により腹板に作用する面内力の組合せを考慮して、次に示すパラメータを用いる。

$$\Omega = (M/M_V) / (Q/Q_V) \cdots (1)$$

ここに、Mは面内曲げモーメント、Qはせん断力である。また、 $M_V = \sigma_V W$ 、 $Q_V = \tau_V A$ 、 $W = B^2 t / 6$ 、 $A = B t$ 、 σ_V は垂直降伏応力度、 τ_V はせん断降伏応力度、Bは腹板高、tは腹板パネルの板厚である。

3. 解析結果とその考察 中間支点上、側径間上および中央径間上の3ヶ所の断面で腹板パネルを解析した。そのうち、中間支点上の腹板パネルの解析結果と考察について述べる。

(1) 垂直補剛材の剛度の検証 図-1に中間支点上の腹板パネルの離散化された解析モデルを示す。計算の結果、垂直補剛材が十分な剛性を持ち、極限状態におけるたわみ波形が垂直補剛材位置で節となることを確かめた。**(2) 垂直補剛材間の補剛板パネルの解析** 図-2

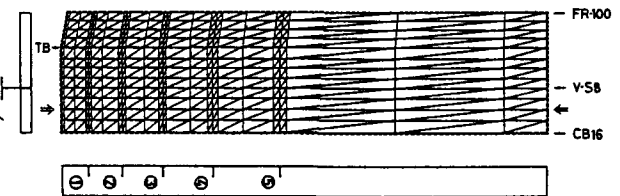


図-1 中間支点上の腹板パネルの解析モデル

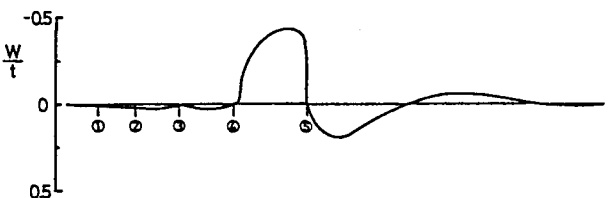


図-2 極限状態における垂直補剛材のたわみ波形 ($\Omega = 4$)

に極限状態における板パネルのたわみ波形の一例（ $\Omega = 4$ ）を示す。図示したたわみ波形は図-1の解析モデル図において矢印で示した位置におけるものである。純曲げ（ $\Omega = \infty$ ）の場合には、腹板パネル全体のたわみ波形が若干認められるが、どの場合にも水平補剛材間の板パネルの局部的なたわみ波形が卓越しており、水平補剛材の剛性が十分であることがわかった。極限状態における板パネル表面の塑性域の分布図からは次のことがわかった。（a）純曲げの場合には、曲げ応力度により上下フランジに近い板パネルで塑性領域が認められる。（b）純せん断（ $\Omega = 0$ ）の場合には、斜め張力場の発生によりほぼ全断面が塑性化する。（c）曲げせん断状態（ $\Omega = 1$ ）のときは、せん断力による塑性化が残留引張応力が導入されている部分で生じる。また、極限状態における水平補剛材の塑性域の分布図より、水平補剛材は両端の対傾構（FR-100）および隔壁（CB16）で支持されているが、下から3段目の水平補剛材③から最下段の水平補剛材④までは、その間に横桁（TB）と垂直補剛材（V-S8）で支持された構造となっていて、これらの影響が純曲げの場合に現れている一方、せん断力が導入される（ $\Omega < \infty$ ）と、板パネルの斜め張力場の影響を受けて、残留引張応力が導入されている部分で塑性化が生じることがわかった。

4. 座屈安定性の照査 弾塑性有限変位解析法を用いた数値計算により得られた極限強度に基づいて、座屈安定性の照査を行った。（1）単一パネルの照査 補剛材で囲まれた単一パネルについて座屈安定性照査を行い、そのうち簡易照査法を用いたときの安全率 ν_0 と所要安全率 $\nu_{B, req}$ の比が比較的小さいものについて、極限強度に基づいて照査した。極限強度に対する安全率 ν_{B*} を求めた結果、簡易照査式は十分安全性を有することがわかった。

（2）補剛板パネルの照査 中間支点上の腹板パネルについて、極限強度に基づき座屈安定性の照査を行った結果を述べる。図-3に極限強度の相関曲線を示す。図中に実線で示された相関曲線および一点鎖線で示された許容断面力曲線はそれぞれ式（2）および（3）で与えられる。

$$(M^*)^p + (Q^*)^q = 1 \quad \cdots (2) \quad , \quad (M^*)^p + (Q^*)^q = 1 / \nu_{B, req} \quad \cdots (3)$$

ここに、 $M^* = M_u / (M_u)_{0=0}$ 、 $Q^* = Q_u / (Q_u)_{M=0}$ 、 $(M_u)_{0=0}$ ： $Q=0$ のときの極限面内曲げモーメント、 $(Q_u)_{M=0}$ ： $M=0$ のときの極限せん断力。図中に示した荷重ケースに対する安全率を求めた結果を表-1に示す。安全率 ν_0 は次式を用いて算定した。

$$\nu_0 = M_u / M_1 = Q_u / Q_1 \quad \cdots (4)$$

表中、 M_1 および Q_1 はそれぞれ設計面内曲げモーメントおよび設計せん断力による腹板の断面力である。

なお、側径間上および中央径間上の腹板パネルの解析結果と照査結果については、講演当日発表する。

5. 結言 (1) 本簡易照査法と道路橋示方書の補剛材の必要最小剛比を満足する設計法を併用した場合、腹板パネル全体の座屈に対して十分な安全性が確保される。(2) 弾塑性有限変位解析結果より、本橋の腹板の座屈に対する安全性が十分確保されていることがわかった。(3) 今後設計架設される鋼桁橋についても、本簡易照査法を用いて調べることが重要である。相当数の橋梁についてその合理性が確立された場合に本簡易照査法が確立されたものとなる。そのような意味において弾塑性有限変位解析法的重要性が認識される。

謝辞 本研究に際し、種々ご便宜を賜った阪神高速道路公団の職員、ならびに本計算に必要な入力データの作成にご協力して頂いた正蓮寺川橋梁JVのスタッフの方々に謝意を表する次第である。

参考文献 1) 小松定夫編：鋼構造の補剛設計、森北出版、1982年。2) 小松・奈良・山口：関西支部年講、I-32、1983年。3) 奈良・出口・小松：構造工学論文集、Vol. 33A、1987年。4) 小松・北田・宮崎：土木学会論文報告集、第244号、1975年。5) 小松・牛尾・北田：土木学会論文報告集、第205号、1977年。

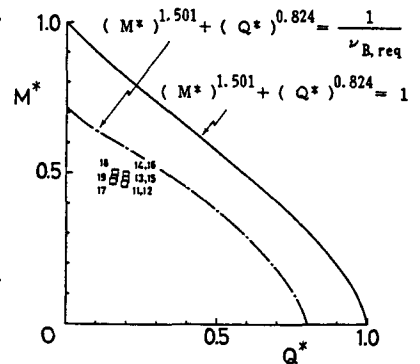


図-3 極限強度の相関曲線

表-1 各荷重ケースに対する腹板の安全率

荷重ケース		11. 12	13. 15	14. 16	1 7	1 8	1 9
設計	M ₁ /M _v	0.467	0.480	0.493	0.373	0.403	0.380
荷重	Q ₁ /Q _v	0.194	0.197	0.196	0.156	0.160	0.158
極限	M _u /M _v	0.731	0.732	0.738	0.730	0.738	0.731
強度	Q _u /Q _v	0.303	0.301	0.294	0.305	0.294	0.303
	ν ₀	1.566	1.527	1.497	1.957	1.832	1.922