

ハイブリッド桁の塑性変形能に影響を与える要因に関する一考察

北海道旅客鉄道(株) 正会員 ○水谷 学
立命館大学理工学部 正会員 野阪 克義

1. はじめに

我が国では、構造物の設計法について許容応力度設計法から性能照査型設計法への改訂が検討されており、今後、構造物の安全性が確保できれば様々な設計法の適用が可能となると思われる。著者らは許容応力度設計法での適用が少ないハイブリッド桁を用いた非弾性設計法¹⁾を視野に入れ、ハイブリッド桁の崩壊形式と塑性回転容量との関連について検討してきた²⁾。本研究では、塑性回転容量の照査方法について検討を加え、新しい照査方法について提案することを目的としている。

2. 検討概要

著者らは40体の解析モデルについて数値解析を行い、ハイブリッド桁の崩壊形式と塑性回転容量との関連について検討を行った。それら解析モデルの概要に関する説明は文献²⁾を参照して欲しい。これらの解析結果を用い、圧縮フランジに作用する最大圧縮応力度に着目し、崩壊形式と荷経路、および塑性回転容量との関連性について検討した。

3. 圧縮フランジに作用する最大圧縮応力度

検討対象であるウェブテストパネル上の圧縮フランジに作用する最大圧縮応力度（圧縮が負）と荷経路との関連性について検討した結果を図-1に示す。図中の各点における値は、解析結果より得られた最大荷重 P_{max} から求めたモーメント M_{max} と、中立軸位置から圧縮フランジ外縁までの距離 y を用いて式(1)から算出した橋軸方向成分の応力度である。

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I} y \quad \cdots (1)$$

横軸は、縦軸に曲げモーメントを公称曲げモーメントで無次元化した値、横軸にせん断力を交差せん断力で無次元化した値をプロットした相関図においての荷経路の傾き、すなわち曲げとせん断を受ける割合を示している。横軸 1.0 は荷経路の傾きが 1.0 となり、曲げとせん断を同程度受ける荷経路であることを示している。

凡例に記されている数値はモデルのウェブ幅厚比を、do, mi は解析で用いた降伏応力度が実験値をもとにしているか(mi), 公称値³⁾(do)をもとにしているかを示している。用いた降伏応力度は以下の通りである。mi: $F_{yf}=606\text{N/mm}^2$, $F_{yw}=343\text{N/mm}^2$; do: $F_{yf}=460\text{N/mm}^2$, $F_{yw}=245\text{N/mm}^2$ 。

鋼材の降伏応力度が異なる 110-mi を除いて、他の3グループは全て最大圧縮応力度が 400N/mm^2 を下回ると同時に塑性回転容量も θ_{req} (LRFD¹⁾ の非弾性設計において求められている塑性回転容量)を下回り、崩壊形式もせん断卓越に変化するという結果であった。110-mi が他よりも高い値を示しているのは、用いた鋼材の降伏応力度が高いことが原因と考えられ、その点を補正することにより、最大圧縮応力度によって非弾性設計に必要とされている塑性回転容量の有無を照査できると考えられる。

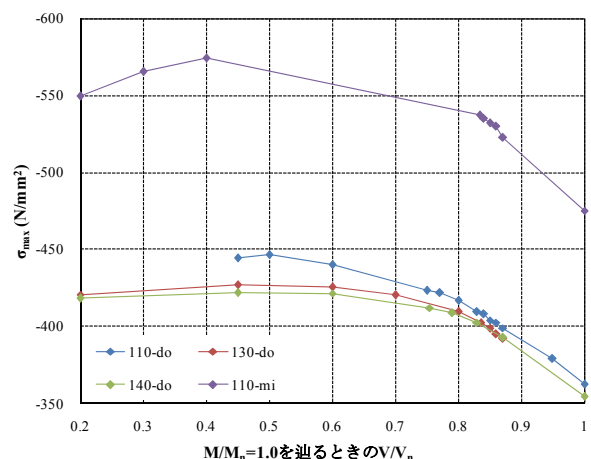


図-1 荷経路と最大応力値の関係

キーワード ハイブリッド桁, 塑性回転容量, 塑性変形能, LRFD

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL077-561-3007 FAX077-561-3007

4. 新たな塑性変形能制限とその照査式提案

降伏応力度の違いによる補正を行うためのアプローチとして、圧縮フランジを三辺単純支持、一辺自由の圧縮板として捉え、圧縮板としての座屈応力度と、前項で求めた圧縮フランジに作用する最大圧縮応力度の関係から補正できないか検討した。

座屈応力度 σ_{crf} と最大圧縮応力度 σ_{max} の関係について表-1 に示す。 σ_{crf} は式(2)によって算出した。

$$\sigma_{crf} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad \cdots (2)$$

ここで、座屈係数 k は、フランジ幅と長さの比より求められ、本研究対象の場合はいずれも 0.465⁴⁾を用いることとする。

do モデルにおいては、 σ_{max} は σ_{crf} の 2 割程度の値であり、圧縮フランジが σ_{max} を受けるまでにヤング係数が 2 割程度までに低減されていると考えることができる。

鋼材の降伏応力度のみが異なる 110-do と 110-mi を比較すると、110-do では圧縮板としての座屈強度の 19%が最大応力度であるのに対し、110-mi ではこれが 25%となっていることがわかる。

この差が鋼材の降伏応力度の違いにより生じたものであると考えられる。

すなわち、同じ幅厚比、降伏応力度を有するフランジにおいては、同程度のヤング係数の低下（19%）によりフランジの局部座屈が開始し、崩壊形式が曲げ崩壊に変化、塑性回転容量が増加するものと考えられる。フランジの降伏応力度が大きくなった場合、同程度のヤング係数の低下を生じさせるためにはより大きな作用応力が必要となることを意味している。

今回扱った解析モデルにおいて、mi モデルではフランジの降伏応力度が do モデルの 3 割程度高い値であり、この関係によって図-3 を補正したものを図-2 に示す。図より、すべてのモデルにおいて同じ最大圧縮応力度が必要塑性回転容量を満たすかどうかの境界となっており、鋼材の降伏応力度の違いによる影響を除去できたことが分かる。

以上より、本研究で対象としたフランジ幅厚比では、必要な塑性回転容量の有無を、圧縮フランジに作用する最大応力度が 400N/mm² を超えるか超えないかによって照査することが可能となることが分かった。すなわち、フランジの降伏応力の基準値を 460N/mm² として、式(3)を満たす場合には必要な塑性回転容量が得られると言える。

$$\frac{460}{F_{yf}} \sigma_{max} > 400 \quad \cdots (3)$$

6. 結論

本研究では、圧縮フランジに作用する最大圧縮応力度に着目し、非弾性設計に必要とされている塑性回転容量を有するための载荷経路（曲げとせん断を受ける割合）を決めるための指標として式(3)を提案した。式(3)は本研究で対象としたフランジ幅厚比に限定されているため、今後はその他のフランジ幅厚比についての検討を行う必要がある。

7. 参考文献

1) American Association of State Highway and Transportation Officials: LRFD Bridge Design Specifications, 3rd Edition, AASHTO, Washington, D.C., 2004. 2) 水谷学, 野阪克義: ハイブリッド桁における崩壊形式と塑性変形能の関連性に関する一考察, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会 講演概要集 (CD-ROM), I-2, 2010. 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 2002. 4) 土木学会: 座屈設計ガイドライン改訂第 2 版, 2005.

表-1 座屈応力度と最大応力度の比較

グループ	σ_{crf} N/mm ²	σ_{max} N/mm ²	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{crf}}$
110-do	2134	403	19%
130-do	2457	403	16%
140-do	2285	403	18%
110-mi	2134	523	25%

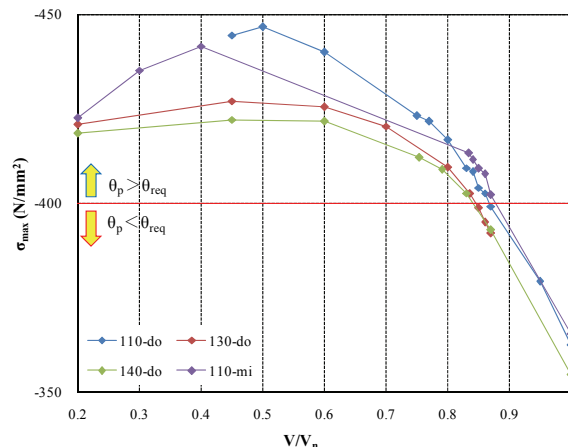


図-2 载荷経路と最大応力値の関係（補正後）