

立命館大学大学院 学生員 ○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になると思われる。本研究は、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を視野に入れ、ハイブリッド桁の崩壊形式と塑性変形能の指標である塑性回転容量との関連性について解析的に検討することを目的としている。

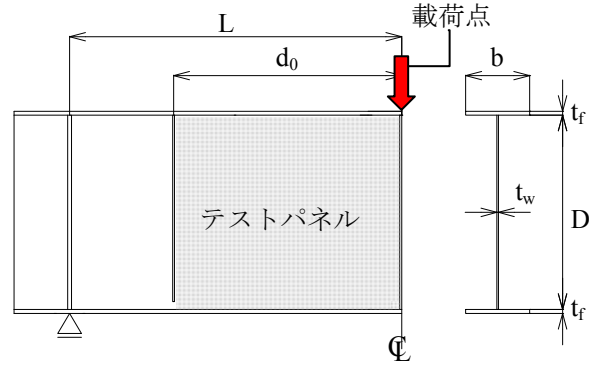


図-1 解析モデル概略図

表-1 解析モデルパラメータ

D/t _w	b/t _f	A _f /A _w	d ₀ /D	F _{yf}	F _{yw}	E
				N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
110	6.0	1.0	1.0	606	343	200000
130				460	245	
140						

2.解析概要

汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を用いて数値解析による検討を行った。曲げとせん断を受ける比率の変化に伴う塑性回転容量の変化を見るため、曲げが卓越する解析モデルを合計 40 体作成した。ウェブ幅厚比及び鋼材の降伏応力が同じものを一つのグループとして、110-mi, 110-do, 130-do, 140-do の4グループを作成した。解析モデルのパラメータを表-1に示す。使用鋼材はウェブが SM400, フランジが SM570 であり、グループ名の mi は過去に行った引張試験結果から得られた降伏応力度を、do は道路橋示方書規定の最低降伏応力度を用いていることを表している。各グループ内でスパンを変えることにより荷重経路を変化させた。ここで荷重経路とは、縦軸にモーメントを AASHTO LRFD の公称曲げ強度 M_n で、横軸にせん断力を公称せん断強度 V_n でそれぞれ無次元化した値をとったグラフを描いたときに、各解析モデルが荷重荷重の増加とともに辿る経路のことを意味している。また、材料特性に関してはひずみ硬化を考慮した場合としなかった場合の解析を行い、ポアソン比は全て 0.3 を用いた。さらに、初期変形として、ウェブ初期面外たわみの最大値が、道路橋示方書の制限値 D/250 となるよう正弦波形を荷重点両脇のテストパネルに与えた。残留応力は、過去の残留応力試験で得られた結果を用いた。解析モデルには4節点シェル要素を用い、要素の一边がほぼ 20mm となるように要素を分割した。荷重として、解析モデル中央の橋軸直角方向すべての上フランジ節点に対して鉛直方向の強制変位を与えた。回転支点と移動支点には、橋軸直角方向すべての下フランジ節点に対して、それぞれ橋軸および鉛直方向と鉛直方向のみの変位を拘束した。横補剛として、すべてのモデルにおいて、AASHTO LRFD AppendixB で定義されている横補剛間隔の制限値以内となるような間隔で面外方向変位を拘束した。

3.解析結果

荷重経路の変化に伴う塑性回転容量の変化を判断しやすくするため、縦軸に塑性回転容量を、横軸に荷重経路上における M/M_n=1.0 時の V/V_n の値をとり、各モデルの結果を破線で結んだグラフを図-2 から 5 に示す。さらに塑性回転容量と崩壊形式の連動性を確認するため、図中の各点に添え字をつけ、どの解析モ

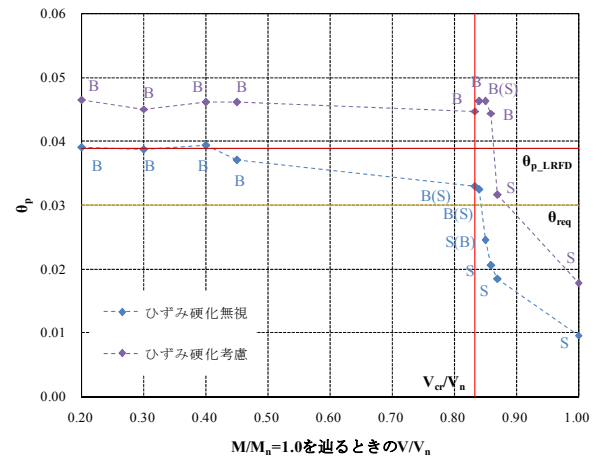


図-2 塑性回転容量と荷重経路 (110-mi)

ルがどのような崩壊形式であったかがわかるようにした。添え字について、B (Bending) は曲げ崩壊、S (Shearing) はせん断崩壊を表している。ただし、曲げ崩壊とせん断崩壊の判別がつけ難いものも存在していたため、その場合は曲げ崩壊に近い B(S)、せん断崩壊に近い S(B) という表現で分類した。また、図中の θ_{p_LRFD} は LRFD で定義されている塑性回転容量の計算式から求めた理論値を、 θ_{req} は中間支点付近において強度 I 限界状態時に崩壊メカニズムを形成するために最低限必要な塑性回転容量の 0.03rads をそれぞれ意味している。更に LRFD において非弾性設計を行う際に、十分な塑性回転容量を得るための条件として設けられている、せん断座屈強度 V_{cr} による V_n の制限についての妥当性も合わせて検討するため、 V_{cr}/V_n の線も加えた。

塑性回転容量の変化の様子は、全体的に曲げ卓越の荷経路で高い値を示し、その大きさはある程度で収束する傾向にあることがわかる。一方、せん断の割合が大きくなるにつれて塑性回転容量は徐々に低下しており、ある一定の強度比率、本解析結果ではいずれのグループにおいても $V/V_n=0.83$ 付近になると急激な塑性回転容量の低下を見せている。

ひずみ硬化による影響は単に塑性回転容量の大小に対してのみであり、 θ_p と荷経路の関係にはさほど影響していないと考えられる。

次に崩壊形式を見てみると、塑性回転容量の減少、すなわちせん断の割合の増加に伴い、曲げ崩壊からせん断崩壊へと変化していることが分かる。十分な塑性回転容量を有するというは優れた塑性変形能を持つことを意味しており、本解析結果は、曲げ崩壊の場合には崩壊に至るまでの塑性変形量が多いという考え方を確認できた。また、曲げ崩壊を起こすものでは、圧縮フランジにおけるねじれ変形が顕著に表れるのに対し、せん断崩壊を起こす場合はこれが見受けられなくなっていた。これらを踏まえ、本解析結果では塑性回転容量と崩壊形式の関連性は高く、崩壊形式から塑性回転容量の有無を判定することもある程度可能であると言える。

また、現行の LRFD における塑性回転容量の照査について、十分な塑性回転容量を得られる境目とされている V_{cr}/V_n はグループ毎にその値が変動するのに対し、本解析結果では全てのグループにおいてほぼ同じであったことから、現行の照査方法は本解析結果をあまり精度よくとらえられていないと考えられる。

4.おわりに

塑性回転容量と崩壊形式には、高い関連性があることがわかった。LRFD における塑性回転容量の照査は、本解析結果に対してあまり高い精度を示さなかったため、これに代わる照査方法について今後検討していく。

5.参考文献

- 1) American Association of State Highway and Transportation Officials: LRFD Bridge Design Specifications, 3rd Edition, AASHTO, Washington, D.C., 2004.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 2002.

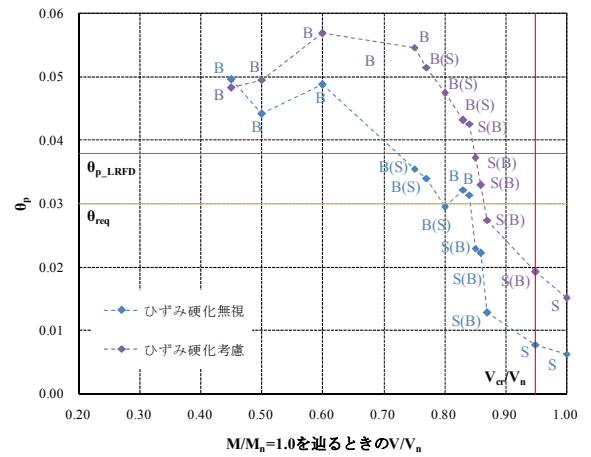


図-3 塑性回転容量と荷経路 (110-do)

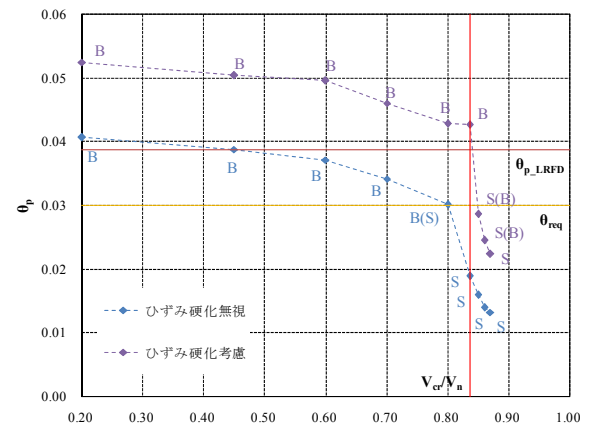


図-4 塑性回転容量と荷経路 (130-do)

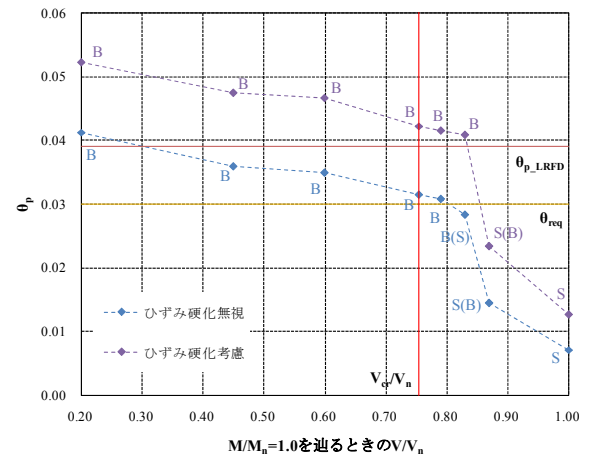


図-5 塑性回転容量と荷経路 (140-do)