

円形環補強ウェブとするH形断面梁の非線形挙動 1

正会員○石田 和人*1 正会員 薩川 恵一*1
正会員 鈴木 敏郎*2

H形断面梁 板要素幅厚比 塑性変形能力
円形環添接補強 開口ウェブ 管状体補強

1. 梁両端部近傍領域への限定的補強

材端から逆対称曲げを受けるH形断面梁に対し塑性が進行する梁両端部近傍の補強構造を図-1に示す。梁中央を対称として材長方向に三つに区分したが、①はフランジの塑性化が先行して始まる領域、②は塑性と弾性の剛性格差が大きな狭間の領域、③は弾性状態にありウェブ上下のフランジの剛性も高く安定した領域である。①領域ではウェブ片側面に梁成の75%径の円形環を添接し且つ左右に縦スティフナーで囲み、前記逆側面に上下フランジと並行して帯板を斜めに配し三角形となる管状体を設けている。図-1(c)に梁の切断面を示したが、①に続く②領域は断面隅部補強をそのまま連続して補強する。③領域はフランジ、ウェブが共に弾性であり補強せず、このため面内せん断に伴う圧縮応力成分はウェブの変形に伴い徐々に消え理論上のせん断降伏荷重には届き難い。左端の断面図は円形環内側に同心円となる円形孔を設ける際に、円形環上下に局所的な隅部補強を施した例である。

図-2(a)は本補強構造のH-600x250x t_w x t_f の梁に対する解析結果で、フランジ板厚22mm, 17mm, 14mm, ウェブ板厚16mm, 12mm, 9mm, 6mm, 4.5mmとする全ての組合せを15本の実線で示している。図の横軸は梁材端の回転角、縦軸は逆対称曲げモーメントを塑性曲げモーメントで無次元化した値である。スパン9mとする梁の補強構造はフランジとウェブの板厚が変わっても全て同じとしたが、加力初期段階から降伏時点、更にそれ以降暫くはひとつに重なっている。逆対称曲げに伴うウェブの面内せん断は4.5mm厚のウェブと22mm厚のフランジとの組合せが最も負荷が大きくせん断降伏荷重の58%であり、それを下回る他の全ては塑性化が進行するフランジに対しせん断を受けるウェブが直接影響していないと考えられる。本補強構造は添接される円形環内側領域ではせん断応力全てが引張応力となって維持され円形環外側領域では断面隅部の管状体による極めて大きな振り剛性によりフランジ、ウェブ共振れ難くなり安定した結果に繋がっている。

図-2(b)はこれらH形断面梁で円形環内側のウェブに開口を設けた場合の解析結果で、梁両端部近傍の円形孔の有無が梁の弾塑性挙動に与える影響について検証する。

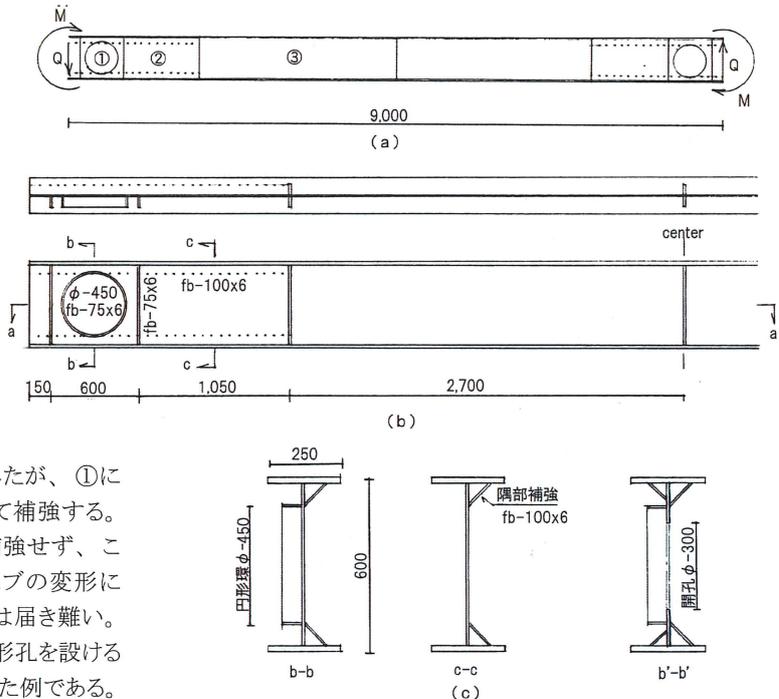


図-1

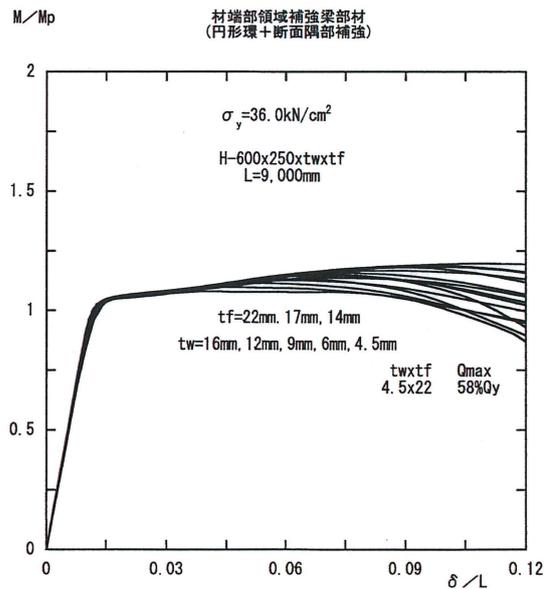


図-2 (a)

選択した対象はフランジ17mm厚、ウェブ16mm～4.5mm厚の5種類で、円形環内側のウェブ面に同心円となる梁成50%径の円形孔を設けるものとした。梁両端部近傍の補強は同じ構成を基本とし、円形孔を設ける場合は断面隅部補強を円形環添接面の上下にも施し、円形環外側領域のウェブに対して補剛効果を上げている。図の縦軸は梁両端部の曲げ荷重であるが、片側だけに孔を設けた場合を点線で左右対称に孔を設けた場合を実線で描いている。図中無開口梁の結果を連続する○印で付加しているが、これら全ては重なり合い描かれている。このように円形孔を設けてウェブ断面の50%が失われた状態で無開口梁と略同じ強さ・挙動が保たれていることは、開口部近傍のウェブ面に新たな力の釣合場が生まれたと考えざるを得ない。いずれにしても、本補強構造によれば梁両端部近傍での開口部の有無に拘らず梁の降伏荷重にも降伏後の非線形挙動にも差異がなく、これは梁を設計する上で都合よくて補強方法としては有効なものと考えられる。

2. せん断力の荷荷が大きい梁

フランジの塑性化が先行する梁にあっても、梁の力学的性状には面内せん断に伴うウェブの挙動が大きく影響する。図-3はスパン6mの梁で、前記同様の補強構造とするものの縦スティフナーの間隔を狭く且つ多く配して面内せん断への釣合に備える。

図-4は前記梁と同じ断面種別に対しての解析結果であるが、4.5mm板厚のウェブを実線、他の全てを点線で示している。図の上側にある点線の内最大のせん断応力は降伏せん断荷重の68%であるが、部材長手方向に縦スティフナーを狭めて配したことでその後降伏耐力は安定して維持されている。実線の3本はウェブ板厚4.5mmの場合で、フランジが厚くなる程ウェブへ付加するせん断力が急増して梁の性状に影響する。その結果せん断降伏荷重の61%では安定した力学性状となるものが、70%では降伏荷重には届くものの降伏後の耐力維持は僅かとなり、この値を超えると両材端部フランジの塑性化で始まる降伏曲げモーメントを下回ることになる。

この状況を検証するため、梁中間の補強のない区間で4.5mm厚ウェブに限り降伏点応力度を $\sigma_y = 60\text{kN/cm}^2$ とする解析を行い連続する×印で描き加えた。これらの結果は全て降伏耐力は確保されその後安定した状態を示しており、剛性を変えず強度を上げただけの結果であり、実線で示す梁の曲げ耐力低下は梁中間部ウェブのせん断耐力不足によるものと推定できる。このようにウェブのせん断強さが全断面有効とするせん断降伏荷重を下回ったとしても、これがせん断座屈に起因するか否かは常に判断する必要がある。

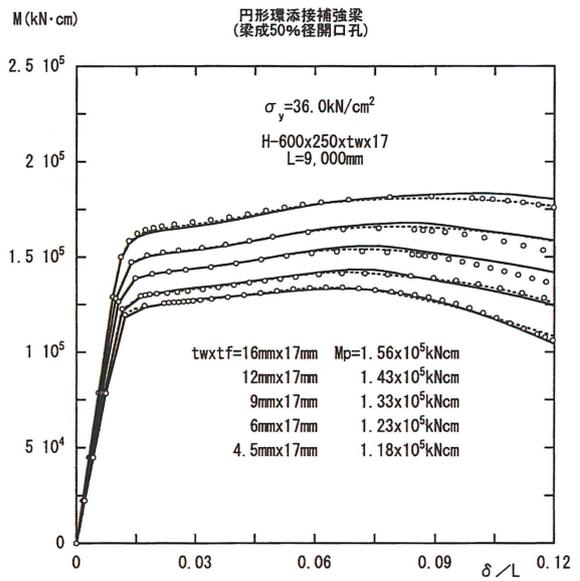


図-2 (b)

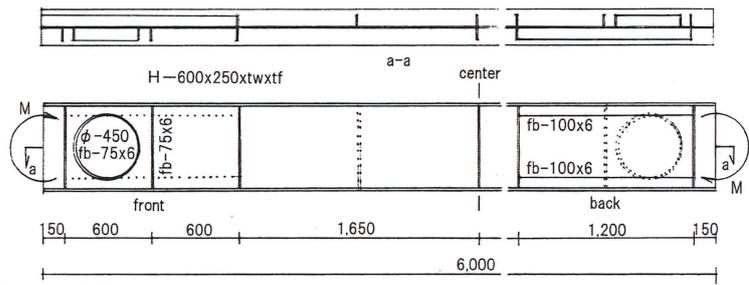


図-3

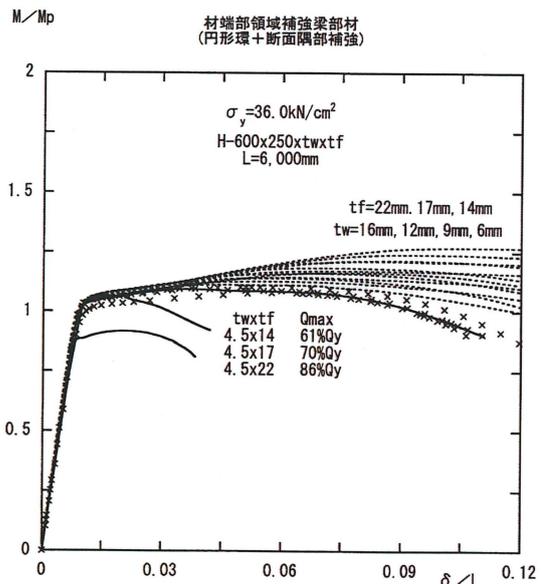


図-4

* 1 愛知工業大学
* 2 構造材料研究会