鉄骨ばり貫通孔補強工法 「ハイリング工法[®]」

HIRING® Construction Method

中野建蔵^{*} Kenzo Nakano 大庭秀治^{**} Shuuji Ohba 北野隆司^{***} Takashi Kitano 伊藤倫夫^{****} Michio Itoh

従来,建築物には,はり(梁)下に設置していた設備用配管類などを直接 はりに貫通させる有孔ばりが多用されている。この有孔ばりは、はりウェブ が一部欠損しているため、無孔ばりよりも耐力・剛性が低い。そこで補強リ ングを用いた鉄骨有孔ばりの新しい補強方法を開発した。

本報では、補強リングを用いた鉄骨有孔ばりの構造実験およびFEM解析を行い、曲げモーメントに関する耐力評価について報告する。

Steel beams with holes for utility piping are often used in steel frame buildings to allow equipment placed just under the beams to pass through. However, the holes inevitably cause degradation in the yield strength and stiffness in the beams compared to normal beams without such holes. The authors created a new construction method to compensate for the degradation using a support ring called HIRING that can be applied to the holes of a beam. Experimental results on the mechanical dynamics of a steel beam with holes equipped with HIRING are presented, as is the calculated strength of the structure using FEM. The validity of the construction method is also discussed.

● 緒 言

あらたに建築されるビルの多くはインテリジェント化 されており,たとえば,空調・給排水などの設備の機能 が多様化してきている。また鋼材量低減のため階高の減 を図る傾向も強くなってきた。これらの潮流に対応する ため,従来はり下に設置していた設備用配管類を直接は りに貫通できる有孔ばりが多用されるようになっている。

この有孔ばりは、はりウェブの一部が欠損した構造と なっているため,無孔ばりよりも耐力・剛性が低い。そ のため,従来工法では一般的にスリープ管や添え板によ って図1に示すような補強が施されている。しかし,補 強効果を充分把握できていないため,貫通孔の径や位置 の制限が多く,設備計画において大きな制約になってい る。また,補強方法には標準化されたものがなく,鉄骨 加工における製作方法が都度異なり,作業効率低下の要 因となっている。

そこで,日立機材は設備計画の自由度を高め,あわせ て鉄骨製作の合理化を図るために補強リングを用いた鉄 骨有孔ばりによる新しい補強方法を提案している。

本報は,補強リング(ハイリング)を用いた鉄骨有孔 ばりの力学性状を構造実験で確認し,耐力評価をFEM解 析で行って,当補強方法の妥当性を検証した結果につい て述べるものである。

2 工法の概要

2.1 構成

ハイリング工法は,図2に示すように補強リングであるハイリング(図3),はり(有孔ばり),柱より構成され,有孔ばりにハイリングを挿入し,はりウェブとハイリングを片側から溶接接合する。図4に取り付け状況を示す。



^{*} 日立機材株式会社 テクニカルセンター

^{**} 日立機材株式会社 関東製作所

^{***} 日立機材株式会社 関西支店

^{****}日立機材株式会社 テクニカルセンター 博士 (人間環境学)



図 3 ハイリング Fig. 3 HIRING.



図 4 取り付け状況 Fig. 4 Example of assembled beam.

2.2 特 長

ハイリング工法の主な特長を,以下に列挙する。

(1)標準化サイズは,貫通孔径 100 mm~ 600 mmまで対応している。

(2)施工性が良く,はりの加工工数低減が可能なので, コスト削減・工期短縮が見込める。

(3)はり端部近傍への貫通孔設置が可能である。

(4) 貫通孔径は,基本的にはり成の1/2以下に対応可能で ある。

⑦ 力学性状

3.1 実験概要

表1に試験体一覧を,図5に試験体形状と加力装置を 示す。各試験体のはり部分は一般構造用圧延鋼材(SS400, H-600×200×11×17)を使用し,補強リングも圧延鋼板 (SS400)から削り出して製作した。実験パラメータは貫 通孔の径d,せん断スパンLsおよび補強リングサイズで ある。補強リングのサイズは,リングの体積Vsとウェブ の欠損体積Vwの比率Vs/Vwとした。固定端から貫通孔位置 の距離Laはすべての試験体において420 mmの位置とし, 補強リングの有孔部への接合方法は溶接接合とした。加 力方法は加力装置に試験体をPC鋼棒で固定し,はり端部 への一方向単調載荷とした。

Table 1Features of test specimens

試験体	計段は々	貫通孔径	孔径比	体積比	せん断スパン Ls(m)	備考
番号	武駛14-台	ď(mm)	d/D	Vs/Vw		
1	000012					無孔
2	300012	300	0.50			有孔,無補強
3	201012	200	0.33	1.0		
4	300512			0.5	1.2	
5	301012	300	0.50	1.0		有孔,補強
6	301512			1.5		
7	401012	400	0.67	1.0		
8	000018					無孔
9	300018	300	0.50			有孔,無補強
10	201018	200	0.33	1.0		
11	300518			0.5	1.8	
12	301018	300	0.50	1.0		有孔 , 補強
13	301518			1.5		
14	401018	400	0.67	1.0		

D:はり成(図5参照)



図 5 試験体形状・加力装置 Fig. 5 Diagram of experiment.

3.2 実験結果

図6に試験体の載荷点における荷重変形関係,図7に せん断スパン1.2 mの試験体の破壊性状を示す。まず, 各試験体の破壊性状と荷重変形関係について考察する。

無補強の300012(試験体名;以下略)や300018はウェ ブによる拘束がないため,降伏後は圧縮側フランジの局 部座屈とともにウェブの面外変形を伴って耐力が低下し た。特にせん断スパンの短い300012ではウェブの面外変 形が大きく,降伏後の耐力低下も顕著である。

貫通孔径の小さい201012ではウェブの面外変形はほと んど見られず,その耐力は無孔ばりと同様にはり端部の 圧縮側フランジの局部座屈によって耐力が決定された。 荷重変形関係も無孔ばりのそれに近い性状を示した。せ ん断スパンの長い201018も同様の状況が見られた。

貫通孔径300 mmでスパンの短い301012はウェブ孔部 の面外変形が認められたが,せん断スパンの長い301018 ではウェブの面外変形がほとんど認められなかった。し かし,補強リング体積比の小さい300512では比較的大き な面外変形が見られた。図6に示した荷重変形関係では, 最大耐力時に無孔ばり同等まで回復しているが,変形量 は無孔ばりよりもやや大きい。

貫通孔径の最も大きな401012および401018では,ウェ ブ有孔部に著しい面外変形が見られる。荷重変形関係を 見ると,せん断スパンの短い401012では無孔ばりの挙動 よりも耐力,変形性能とも劣る。また最大耐力時の変形 量は無孔ばりに比べて大きくなっている。

実験で得られた各試験体の降伏耐力P₂と最大耐力P₄を 実験パラメータごとに整理して**図8**に示す。横軸は補強 リング体積比,縦軸は降伏耐力,最大耐力を無孔ばりの それ(P₅₀,P₄₀)でおのおの除して比としたものである。 ここでは,降伏耐力は荷重変形関係の1次こう配と2次こ う配の交点と定義した。降伏耐力,最大耐力ともに補強 リングの体積比に応じた補強効果が確認できる。特に最 大耐力における効果は顕著であり,孔径比が0.5以下であ れば体積比1.0の補強リングを用いることで無孔ばりと同 等の耐力が得られている。



Fig. 6 Load-deformation relationships.



(b) 300012

(a)000012



(c) 201012





(f) 401012

(e)301512 図7 破壊性状

Fig. 7 Destructive characteristics.



(b)最大耐力

図8 体積比 - 降伏·最大耐力比関係

Fig. 8 Py/Pyo-Vs/Vw relationships and Pu/Puo-Vs/Vw relationships.

④ 耐力評価

4.1 有限要素法(FEM)による解析概要

貫通孔の補強の有無,孔径比,体積比およびせん断ス パンを変化させた,表2に示す16体のモデルを作成した。 図9に示す解析モデル(8節点solid要素)で材料特性を 真ひずみ・真応力に変換し,初期条件(不整値)を入力 して変位増分解析を行った。

4.2 耐力評価式

本報告では加藤ら³⁾の耐力評価式を基本式として検討 を進める。解析モデルでは貫通孔中心位置の断面形状が 図9のようになっており,はりウェブの断面に補強リン グの断面が溶接で連結された構成になる。加藤らは有孔 ばり補強部せん断耐力に補強効果を見込んでいるが,有 孔ばり補強部の全塑性モーメント*Mph*には補強部分の全塑 性モーメントが考慮されておらず,過小評価していると 考えられた。そこで本研究における*Mph*は補強リングの全 塑性モーメントを加えた形にした。また,フランジの全 塑性モーメント低減係数 を*Pi*と*R*の関係式で示した。

・補強リング幅 <i>Pttw=</i> ((1.8 <i>d</i> / <i>D</i> +0.8()V _s /V _w)+1) <i>tw</i> (1)
・補強リング厚 <i>P_R</i> = 1.23 <i>P_tt_w</i> (2)
・有孔補強部の全塑性モーメント
$M_{ph} = Bt(h + t_f)_{yf} + \frac{1}{4} \{h^2 - 4(R + P_R)\} \}t_w y_w$
+ $P_t t_w P_R (2R + P_R)$ ys
・ウェブの最大せん断耐力を保持しながら負担しうる有
孔補強部の全塑性モーメント
$M_{phf} = (1 - \frac{ht_w}{2Bt_f})M_{pf}$ (4)
・フランジ全塑性モーメント低減係数
$= (0.59P_t - 0.93 \) 2R \) + (-0.16P_t + 0.25 \) 2R \)$
+($0.026P_t$ + 0.26)2 <i>R</i> (5)
R = d/h R = $d/2$
ここに ,
tw : ウェブ厚,tr:フランジ厚,d:貫通 孔径,
D :はり成 , B:フランジ幅 ,
P₁:ウェブ厚に対するハイリング幅の比率,
Pr : 貫通孔半径に対するハイリング厚の比率,
_ॴ :フランジの降伏強度,
_{シw} :ウェブの降伏強度 ,

_{ッ^s</sup>:補強リングの降伏強度}

である。

4.3 M-Q相関図

図10に今回用いた耐力評価式による計算値と実験値お よびFEM解析によって得られた解析値を示す。縦軸は貫 通孔中心に作用する曲げモーメントM,横軸は同位置に 作用するせん断力Qである。実際の設計用耐力は原点か ら右上に伸びた実線と無孔ばりであれば一点鎖線との交 点,有孔ばり補強であれば実線との交点である。また, それぞれ外側が耐力評価式による終局耐力であり,内側 が降伏耐力である。原点から右上に伸びた実線はこう配 の大きい方がせん断スパン1.8 m(せん断スパン比3.0)の もので勾配の小さい方が1.2 m(せん断スパン比2.0)で ある。

表 2 解析用モデル一覧

Table 2 Model summary for analysis

モデル名	貫通孔径	孔径比	体積比	せん断スパン	実験の	備考
	ď(mm)	d/D	Vs/Vw	Ls(m)	有無	
200012	200	0.33			無	有孔 , 無補強
201012			1.0		有	有孔,補強
300012	300	0.5		1.2		有孔,無補強
300512			0.5			有孔,無補強
301012			1.0			
301512			1.5			
400012	400	0.67			無	有孔,無補強
401012			1.0		有	有孔,補強
200018	200	0.33		1.8	無	有孔 , 無補強
201018			1.0		有	有孔,補強
300018	300	0.5				有孔,無補強
300518			0.5			
301018			1.0			有孔 , 補強
301518			1.5			
400018	400	0.67			無	有孔,無補強
401018			1.0		有	有孔,補強



図 9 解析モデル

Fig. 9 Analytic model.

M-Q相関図を見ると、いずれの場合においても耐力評 価式は実験結果および解析結果とよく対応しており、特 に補強効果に伴う耐力上昇をよく追従している。孔径 200,体積比1.0と孔径300,体積比1.5は評価計算値が無 孔ばり計算値と同程度まで回復しているが、孔径300,体 積比0.5 や孔径400,体積比1.0では補強後も*Q*_{ph}および*Q*_{ch}







図11 耐力式計算値と実験値・解析値との比較

Fig. 11 Comparison of calculated values and experimental values analytical values.

の回復が少ないのがわかる。*M*_{ph}および*M*_{eh}は無補強でも 著しい低下が見られない。

耐力評価式を実験試験体における載荷点荷重に換算し, 実験値およびFEM解析値との対応を示したものが図11で ある。(a)が降伏耐力,(b)が終局耐力を示す。

401012の降伏耐力は耐力評価式による計算値が若干危 険側ではあるが,全体的に安全側でよく対応している。 終局耐力では耐力評価式による計算値が危険側の評価に なることなく一部で大きな差はあるが安全側で評価でき ている。また,FEM解析値と実験値を比較するとそれら は近似し,解析モデルの妥当性が確認できた。

④ 結 言

鉄骨ばりの貫通孔補強工法としてハイリング工法を開発した。補強リングとしてハイリングを用いた場合の曲 げモーメントに関する耐力評価式を提案し,実験データ とFEM解析結果とを比較検証しその妥当性を確認できた。

参考文献

- 1)福知保長ら:円形孔を有するはりの耐力と設計法(3 実用的耐力算定式の提案),日本建築学会構造系論文 集,第357号,pp44-51,1985年11月
- 2)田中秋水,福知保長他:スリーブ管補強鉄骨有孔梁の開口位置と破壊性状・変形能力に関する研究,日本建築学会構造系論文集,第530号,pp147-151,2000年4月
- 3)加藤勉ら:鉄骨梁貫通孔の梁端からの限界距離について,日本建築学会構造系論文集,第496号,pp105-112,1997年6月



中野建蔵 Kenzo Nakano 日立機材株式会社 テクニカルセンター



大庭秀治 Shuuji Ohba 日立機材株式会社 関東製作所



北野隆司 *Takashi Kitano* 日立機材株式会社 関西支店



伊藤倫夫
Michio Itoh
博士(人間環境学)
日立機材株式会社
テクニカルセンター