

スカラップ近傍のウェブを部分的に減厚した梁端接合部の変形性能

Deformation Capacity of Beam-End Connection with Partial Processing Web near Weld Access Hole

澤 本 佳 和 久保田 淳 上 瀧 敬 太

要 約

兵庫県南部地震(1995年)ではスカラップ付き鉄骨梁の梁端溶接部の破断が報告された。この被害に関し、これまで新築建物では梁端フランジを拡幅して早期破断を防止する対策が行われてきたが、既存建物には破断被害を受けたものと同様なディテールが多く存在する。このような既存梁の補強法としては、スカラップ部に鋼板を溶接する方法(局部補強)や梁端のフランジ・ウェブを補強する方法(全体補強)が提案されているが、設計・施工上の問題がある。ここでは、このような既存梁に対して、スカラップ近傍のウェブ厚を部分的に切削(部分加工)してスカラップ底の応力集中を低減する方法を提案し、梁端溶接部近傍を取り出した要素実験および部分骨組実験を行うことにより、スカラップ底の応力集中低減効果と変形性能の向上効果の確認を行う。

目 次

- I. はじめに
- II. 要素実験
- III. 要素実験のシミュレーション
- IV. 部分骨組実験
- V. おわりに

I. はじめに

兵庫県南部地震(1995年)ではスカラップ(溶接交差部に設ける扇形の孔)付き鉄骨梁の梁端溶接部の破断が報告された¹⁾。この被害に関し、これまで新築建物では梁端フランジを拡幅して早期破断を防止する対策が行われてきたが、既存建物には破断被害を受けたものと同様なディテールが多く存在する。このような既存梁の補強法としては、スカラップ部に鋼板を溶接する方法(局部補強)^{例えば、2)}やフランジ・ウェブを補強する方法(全体補強)^{例えば、3)}が提案されているが、局部補強は溶接が必要であること、全体補強は梁耐力の上昇により柱梁耐力比が小さくなることで架構の崩壊型が設計時と変わってしまうことなどの施工および設計上の問題がある。これに対応するため、梁ウェブが厚い場合と薄い場合では、スカラップ底の応力集中度合いが異なり、梁ウェブが薄い場合にはスカラップ底の最大ひずみが小さくなり、き裂

が入るタイミングが遅くなるという既往の解析的研究成果²⁾に基づき、新たな補強法を開発する。既存梁では梁ウェブの全体の厚さを薄くすることはできないため、本研究では、スカラップ近傍のウェブ厚を部分的に切削して薄くした場合(部分加工)にも同様な効果があるのかを検討する。

本報では、溶接を用いずにスカラップ付き鉄骨梁の変形性能を簡易に改善する方法(部分加工)を提案して、要素実験によりその構造性能を把握し、有限要素法(FEM)によるシミュレーションとパラメータスタディにより適切な部分加工範囲の確認を行う。最後に、部分骨組実験によりスカラップ近傍の部分加工をされた梁端接合部の構造性能の把握を行う。なお、スカラップ近傍の部分加工は、エンドミル加工機を梁フランジに設置して梁ウェブの切削を行う。

II. 要素実験

1. 実験概要

試験体形状を Fig.1 に、試験体一覧を Table 1 に、試験体のスカラップ近傍写真を Photo 1 に、鋼材の機械的性質を Table 2 に示す。Photo 1 は溶接組立 H 形鋼(BH)の場合である。

試験体は、内ダイアフラム形式の梁端溶接部の梁フランジ、梁ウェブ、柱、ダイアフラムおよび溶接部を取り出した形状とし、実際の梁で生じる材軸方向のモーメント勾配を考慮す

キーワード : 鉄骨造, 梁部材, 既存建物, き裂, 変形性能

Keywords : steel structure, steel beam, existing building, crack, deformation capacity

るために、梁フランジの形状を台形としている (Fig.1)。梁端部のスカラップは半径 35mm の 1/4 円とし、梁端溶接のエンドタブは鋼製として残置している。また、溶接組立 H 形鋼 (BH) の場合にはスカラップ底は回し溶接としている。試験パラメータは、梁形式 (溶接組立 H 形鋼 : BH, ロール H 形鋼 : RH) と部分加工 (以下、切削と呼ぶ) の有無および切削後のウェブ厚とし、試験体数は 5 体とする (Table 1)。なお、試験体では Fig.1 の右側鋼板とウェブ鋼板が溶接接合されて

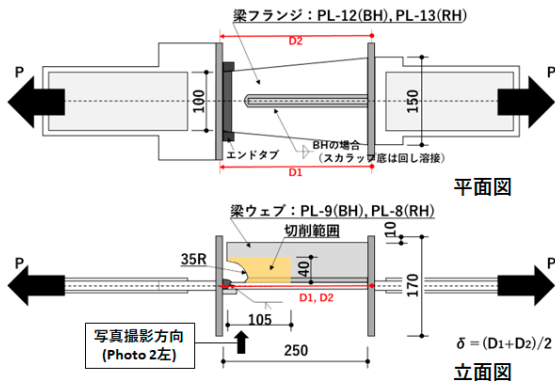


Fig.1 試験体形状(View of Specimen)

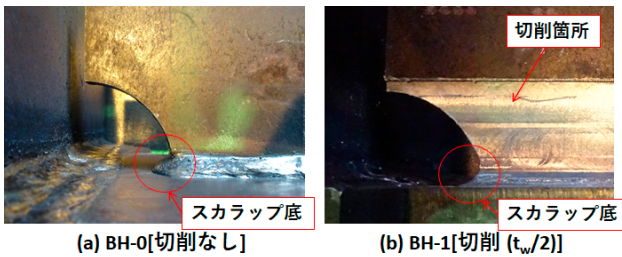


Photo 1 スカラップ近傍の写真 (Photo of near Weld Access Hole)

Table 1 試験体一覧 (Specimen List)

	実験パラメータ			実験結果 ^{*1}		備考
	梁形式	切削		最大荷重 (kN)	最大変形 ^{*2} (mm)	
		有無	切削後のウェブ厚			
BH-0	BH	なし	-	704 (1.00)	10.07 (1.00)	SM490A
BH-1		あり	t_w/2	701 (1.00)	13.86 (1.38)	
BH-2			t_w/3	700 (0.99)	12.13 (1.20)	
RH-0	RH	なし	-	681 (1.00)	12.11 (1.00)	SN400B
RH-1		あり	t_w/2	682 (1.00)	16.67 (1.38)	

*1: ()内の値は切削なしの場合に対する比を示す。

*2: 最大変形は荷重が最大荷重の90%に低下するまでの変形を示す。

Table 2 鋼材の機械的性質 (Material Properties of Steel Plate)

鋼種	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏比 (%)	破断伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (J)
PL-9	402	540	74	27	-
PL-12	337	523	64	30	80
PL-8	332	448	74	29	-
PL-13	306	440	70	31	157
試験片	JIS Z 2241 (1A号)				JIS Z 2242 (0°C)

おり、試験体に引張力を与えることで、ウェブの負担する応力がスカラップ底を通して、梁フランジに伝達されるようになっていく。

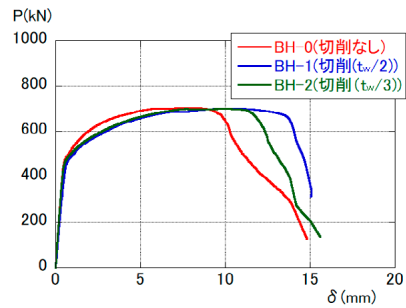
スカラップ近傍の切削は、Fig.1 に示す範囲とし、要素試験体を溶接組立後にウェブ厚 t_w が t_w/2 あるいは t_w/3 となるようにウェブの両側から外周および先端部に刃を持つ回転切削工具であるエンドミルを用いて減厚を行う (Photo 1)。また、フィレット部 (回し溶接部も含む) 半分程度となるように切削を行う。鋼材は BH では SM490A を、RH では 400N 級鋼を用いる。試験体フランジのシャルピー吸収エネルギー (0°C) は、80J (BH) と 157J (RH) である (Table 2)。また、梁端溶接は CO₂ 半自動溶接で、入熱 (≦40kJ/cm) とパス間温度 (≦350°C) の条件の下で実施する。

荷重は、Fig.1 に示すように試験体両端に引張力を単調に与え、梁端部が破断するまで実施する。

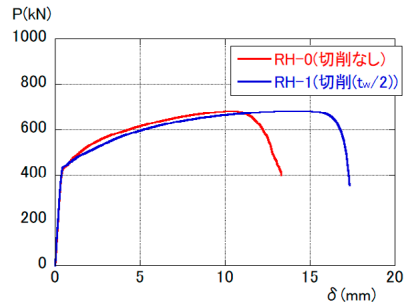
2. 実験概要

荷重・変形関係を Fig.2 に、実験結果の最大荷重、最大変形を Table 1 に、BH の場合の破壊状況を Photo 2 に示す。ここで、変形は Fig.1 に示す試験区間の変形 δ (D1, D2 の変形の平均値) とし、最大変形は荷重が最大荷重の 90% に低下するまでの変形とする。また、Photo 2 左は Fig.1 に示す矢印方向からの写真であり、黒皮の剥がれた領域も示す。

破壊性状に関しては、梁形式、切削の有無に依らず、スカラップ底から入ったき裂が進展することにより、梁フランジ全幅が延性破断した (Photo 2)。なお、切削を行った場合には、スカラップ底にき裂が入る前にウェブフィレットに沿うき裂の進展も見られた。



(a) BH



(b) RH

Fig.2 荷重・変形関係 (Load-Displacement Relationship)

切削の有無では、ウェブ厚を $t_w/2$ に減厚することにより、最大変形が BH, RH とも切削なしと比較して 1.38 倍増加した (Fig.2, Table 1)。これは、スカラップ近傍を切削したことによるスカラップ底への応力集中が低減された結果、文献 2) と同様にスカラップ底からのき裂発生が遅くなったことに起因すると考えられる。また、切削ありの場合には、黒皮の剥がれた領域が切削なしの場合よりも大きく、より大きな範囲で塑性変形していることが分かる (Photo 2 左)。荷重に関しては、切削をした場合には降伏後の荷重が切削なしと比較してやや小さいが、最大荷重は切削の有無に関わらずほぼ同じであった (Fig.2, Table 1)。切削後のウェブ厚に関しては、切削 ($t_w/2$) よりも薄くした切削 ($t_w/3$) の場合には、破断までの変形性能がやや小さくなる結果となり、切削後のウェブ厚の差異によるばらつきが見られたが、ウェブ厚を $t_w/2$ 程度まで薄くすることにより、変形性能向上効果があることが分かった。

梁形式では BH よりも RH の方の破断までの変形性能が、切削の有無に関わらずやや大きかった。これは、RH のフランジのシャルピー吸収エネルギーが BH よりも 2 倍程度大きかったこと、鋼材の強度レベルが低かったことにより、き裂発生および進展が抑制されたことに起因すると考えられる。

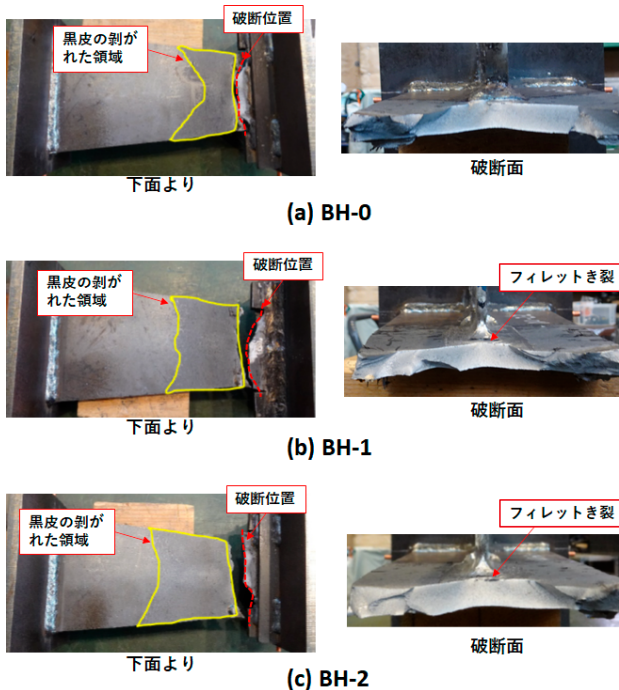


Photo 2 破壊状況 (Fractural State)

III. 要素実験のシミュレーション

1. 解析概要

前述の要素実験の内、BH 試験体の切削なし (BH-0) と切削あり (BH-1,2) に対して、FEM を用いたシミュレーション

を行う。解析では、Fig.3 に示すようにソリッド要素およびシェル要素を用いて要素試験体をモデル化し、文献 4) と同様な損傷モデル (繰り返し損傷則, 単調損傷則) を適用することにより、梁端溶接部の破断を模擬できるようにしている。ソリッド要素は 1/2 モデル、シェル要素は全体モデルとする。ここで、シェル要素を用いたのは、板厚方向の破壊 (き裂) の伝播現象は追うことはできないが、ソリッド要素と比較し

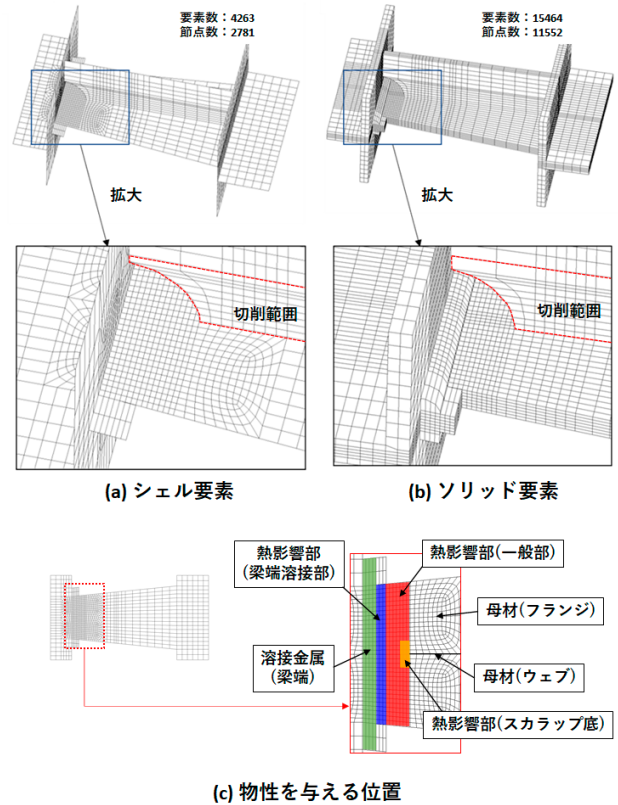


Fig.3 解析モデル (View of FE-model)

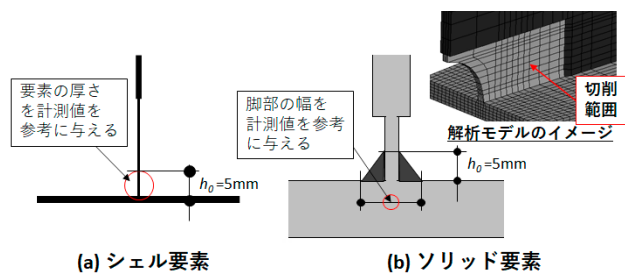


Fig.4 余盛のモデル化 (View of Excess Weld Metal)

Table 3 損傷モデルの材料物性 (Material Properties of Damage Model)

		降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	損傷パラメータ		破断 真ひずみ ϵ_f	破壊進展 定数 ζ
				S	λ		
母材	フランジ	337	523	1.7	10.0	0.88	2.0
	ウェブ	402	540	2.0	10.0	0.98	2.0
溶接金属 (梁端)		469	675	2.3	3.6	0.50	2.0
熱影響部	一般部	337	523	1.7	3.5	0.49	2.0
	スカラップ底	426	625	2.1	2.0	0.32	2.0
	梁端溶接部*	439	642	2.2	3.8	0.53	2.0

* $\lambda=2.4$, $\epsilon_f=0.36$: 溶接始終端の要素

て簡易な（計算コストが小さな）解析が可能であると考えたためである。なお、文献4)ではフィレット部の余盛をモデル化しない条件で解析を行っているが、ここでは、切削ありの場合には余盛の計測値を用いて、Fig.4のようにフィレット部の余盛部分をモデル化する。これは、切削後の薄くなったウェブ厚のみを用いると、解析上、スカラップ底の応力集中を過小評価すると考えたためである。

解析での構成則は前述の損傷モデルを考慮した混合硬化則である。また、損傷モデル（繰り返し損傷則、単調損傷則）の材料定数 ($S, \lambda, \epsilon_f, \zeta$) は Fig.3(c)の物性を与える位置（母材、熱影響部[スカラップ底、梁端溶接部、一般部]、溶接金属）に応じて、Table 2の素材試験結果などを基に評価し、Table 3に示す。ここで、 S と λ は疲労に関する材料定数（損傷パラメータ）、 ϵ_f は単調載荷時の破断真ひずみ、 ζ は破壊の進展速度に係わる定数（破壊速度定数）である。また、熱影響部と溶接金属の降伏点、引張強さ等は文献5)を参考にして、母材に対する比率を評価し Table 3のように与える。解析では損傷モデルの閾値に達した要素は削除されることにより、き裂発生・進展をモデル化する。また、シェル要素の場合では、き裂進展のランダム性を模擬するため、文献2)と同様に熱影響部の材料不均一性を考慮し、熱影響部の板厚を変動係数10%の正規分布に従い与えた場合も検討する。以下では、通常の解析（板厚一定）と区別するために、板厚変動と呼ぶ。境界条件は実験と同様に一端の材軸方向変位を固定し、他端に材軸方向に強制変位を加える。

2. 解析結果

解析結果の荷重・変形関係と終局状況を Fig.5 に示す。終局状況には、相当塑性ひずみ分布から判断した塑性化領域を示す。なお、相当塑性ひずみはミーゼスの相当応力に対応する1軸方向に換算したひずみである。

Fig.5を見ると、要素形式に依らず、スカラップ底から発生したき裂が進展して梁端破断に至っている。また、変形性能の大小関係は、切削なし < 切削 ($t_w/2$) < 切削 ($t_w/3$) の順番となっており、実験結果と異なり、切削 ($t_w/3$) の変形性能が一番大きくなっている。切削なしでスカラップ底にき裂が発生する直前の変形に於ける熱影響部(スカラップ底:Fig.3(c))の要素の相当応力最大値に関して、切削あり/切削なしの値を求めると、Table 4 となる。Table 4 によると切削あり/切削なしの値は0.89~0.95であり、切削をすることにより、最大応力が低減されている。また、低減の程度は切削 ($t_w/2$) よりも切削 ($t_w/3$) の方が2~4%程度大きくなっている。これは、通常はウェブが薄くなるとスカラップ底への応力集中が低減される知見²⁾とも一致しており、実験結果は様々な要因により、切削 ($t_w/2$) と切削 ($t_w/3$) での変形性能が逆転した可能性がある。ただし、切削 ($t_w/2$) と切削 ($t_w/3$) の差は小さく、 $t_w/2$ 程度の切削で十分な変形性能が得られることが分

かる。また、塑性化領域では解析結果は実験結果と同様に、切削をした場合の方の塑性化領域が広がっている。

ソリッド要素を用いた解析では、シェル要素の解析結果と比較して、切削なしと切削 ($t_w/2$) の荷重・変形関係は実験結果と荷重低下領域も含めて良く一致している。しかしながら、切削 ($t_w/3$) の場合には解析結果の中でも大きな変形性能を示している。また、シェル要素を用いた解析では、板厚一定の方が板厚変動よりも大きな変形性能を示している。

破壊状況ではシェル要素（板厚変動）が非対称でギザギザしている実験での破断線に近いものとなっている。

以上より、ソリッド要素では実験結果の切削なしと切削 ($t_w/2$) を良くシミュレートできているが、シェル要素と比較して切削 ($t_w/3$) の場合をやや大きく評価していること、シェル要素では実験結果の変形性能をやや小さめに評価するが、全体的な傾向は捉えていることが分かった。

次に、ソリッド要素と比較して簡易な（計算コストが小さな）解析が可能であるシェル要素（板厚一定）を用いて、切削 ($t_w/2, t_w/3$) で切削範囲を変化させたパラメータスタディを実施し、最適な切削範囲を模索する。

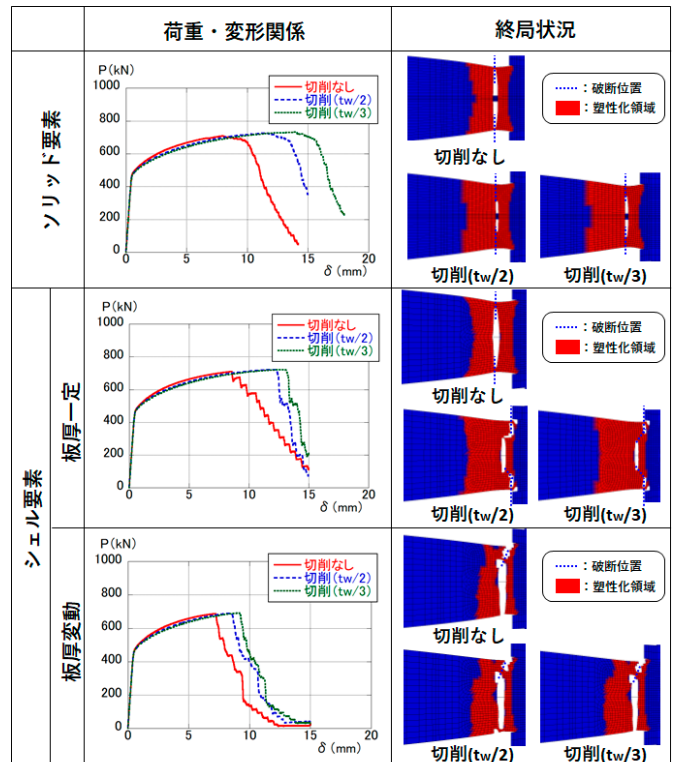


Fig.5 解析結果(Numerical Results)

Table 4 スカラップ底の最大応力低減率 (Reduction Rate of Maximum Stress at Root of Weld Access Hole)

	ソリッド要素	シェル要素	
		板厚一定	板厚変動
切削($t_w/2$)	0.95	0.91	0.93
切削($t_w/3$)	0.91	0.89	0.91

3. パラメータスタディ

Fig.3(a)と同様なシェル要素(板厚一定)を用いて、Fig.6に示す α の値を0.0~3.0と変化させた解析を実施し、切削なしと切削($t_w/2, t_w/3$)の最大変形を比較した。また、今回の要素実験は引張力を作用させた場合の変形性能を検討しているが、実際の梁フランジには引張力と圧縮力が交互に作用し、圧縮力が作用する場合にはフランジの幅厚比によっては局部座屈が発生すると考えられる。このため、Fig.3(a)の解析モデルの荷重方向を反転させて、圧縮の強制変位を与えた場合の解析も参考のため実施し、その時の座屈耐力の比較も行う。最大変形比および座屈耐力比とウェブ切削範囲 α ($\times 35\text{mm}$)の関係を図.7に示す。なお、 $\alpha=2$ が要素実験の場合である。

Fig.7より、切削後の板厚($t_w/2, t_w/3$)に関わらず、 $\alpha \geq 1.0$ の範囲では最大変形比は微増となっており、 $\alpha \geq 2.0$ の範囲で最大変形比の増加は更に小さくなっている。また、座屈耐力比は $\alpha \geq 1.0$ の範囲では微減となっており、 $\alpha \geq 2.0$ の範囲で座屈耐力比の減少は更に小さくなっている。また、切削($t_w/3$)の方が切削($t_w/2$)よりも座屈耐力は小さい。これは、切削範囲を大きくすると変形性能の向上は見込めるが、その反面、座屈耐力の低下により局部座屈による早期の荷重低下の恐れがあることを示している。よって、相反する事象(スカラップ底の応力集中による梁端破断、局部座屈による早期の荷重低下)を抑制するためには、適切な切削条件が必要となる。

以上より、最大変形比の増加傾向と座屈耐力比の減少傾向を考慮して局部座屈と梁端破断をバランス良く抑制して変形性能を向上できる最適な条件としては、要素実験で採用した切削条件(範囲： $\alpha=2.0$ 、切削後板厚： $t_w/2$)と判断した。

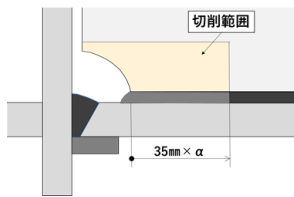


Fig.6 切削範囲(Cutting Area)

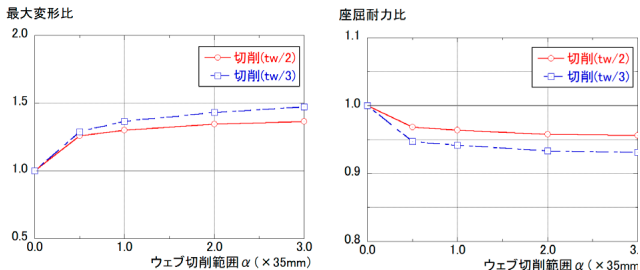


Fig.7 切削範囲を変化させた解析結果
(Numerical Result with Varying Cutting Area)

以下の部分骨組実験では上記の選定した切削条件を用いて、実際の荷重条件での変形性能向上効果の検討を行う。

IV. 部分骨組実験

1. 実験概要

試験体形状を図.8に、試験体一覧をTable 5に、鋼材の機械的性質をTable 6に示す。Fig.8には梁端部の詳細ディテールも示す。

試験体は、通しダイアフラムの現場溶接形式(フランジ：溶接、ウェブ：ボルト接合)で、梁端のスカラップはR35-1/4円とし、梁端溶接のエンドタブは鋼製として残置している。また、梁端スカラップは上下とも梁の下フランジを模擬し、梁端ウェブのボルトは、梁の全塑性耐力時のせん断力に対してすべりが発生しない設計としている。

実験パラメータはスカラップ近傍の部分加工での切削の有無と荷重履歴とした(Table 5)。切削ありでは、スカラップ近傍のウェブを要素実験の試験体と同様に $t_w/2$ となるように切削し(Photo 1)、フィレットの余盛部分についても1/2厚(半分程度)となるように切削を行う。上記の切削は、梁をH形に溶接組立後に実施する。鋼材はSM490Aを用い、試

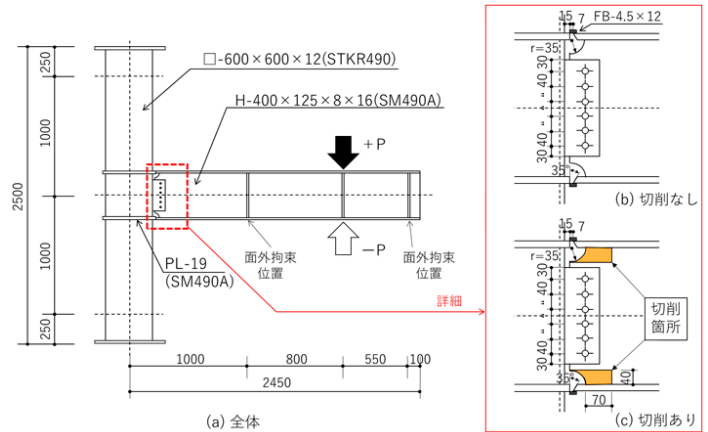


Fig.8 試験体形状(View of Specimen)

Table 5 試験体一覧(Specimen List)

試験体	部分加工	荷重履歴
No.0-G1	なし	漸増交番
No.0-C2		一定振幅(塑性率2)
No.1-G1	切削 ($1/2t_w$)	漸増交番
No.1-C2		一定振幅(塑性率2)
No.1-C4		一定振幅(塑性率4)

Table 6 鋼材の機械的性質
(Material Properties of Steel Plate)

試験片	試験体	鋼種	降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	降伏比 (%)	破断伸び (%)	シャルピー吸収 エネルギー(J)
PL-9	No.0	SM490A	476	522	91	20	-
	No.1		403	557	72	25	-
PL-16	No.0		371	556	67	27	137
	No.1		337	522	64	28	86
試験片	JIS Z 2241(1A号)						JIS Z 2242(0°C)

験体フランジのシャルピー吸収エネルギー(0°C)は 137J(No.0)と 86J(No.1)である (Table 4)。また、梁端溶接は CO2 半自動溶接で、入熱 (≦40kJ/cm) とパス間温度 (≦350°C) の条件の下で実施する。

また、荷重は柱上下をピン・ローラー支持して、梁の中間と先端を面外拘束した状態で、梁先端に強制変位を与える。載荷履歴は一定振幅 (塑性率: $\mu=2, 4$) と正負漸増交番とする。なお、切削なしの場合では一定振幅 ($\mu=4$) は実施していない。正負漸増交番載荷では、 $\mu=2, 4, 6$ を 2 回ずつ繰り返した後に $\mu=8$ まで一方向に載荷することを原則とする。ここで、塑性率 μ は梁の全塑性耐力計算値を実験時の初期剛性で除した値である。

2. 実験結果

(1) 一定振幅

一定振幅載荷 ($\mu=2$) の実験結果の荷重・変形関係と最終状況を Fig.9 に示す。Fig.9 には破断までの繰り返し数 N_f も示す。また、荷重・変形関係は、 M/M_p と塑性率 μ の関係である。なお、 M は梁端モーメント、 M_p は梁の全塑性モーメントである。

一定振幅載荷 ($\mu=2$) に於いて、切削なし (No.0-C2) では、2 サイクルでスカラップ底に小さなき裂が発生し、+15 サイクルでスカラップ底のき裂がフランジを貫通し、+16 サイクルで梁フランジが破断した。また、切削あり (No.1-C2) では、2 サイクルでスカラップ底に小さなき裂が発生し、荷重が最大荷重の 95% に低下した 26 サイクルでフィレット部にき裂が発生して材軸に沿うように進展し、53 サイクルで切削部全体に到達した。その後、溶接始末端のき裂が進展し、69 サイクルでフランジ全断面が破断した。なお、スカラップ底のき裂はほとんど進展しなかった。また、一定振幅載荷 ($\mu=4$: No.1-C4) の結果は図示をしていないが、2 サイクルでスカラップ底に小さなき裂が発生し、荷重が最大荷重の 95% に低下した 8 サイクルでフィレット部のき裂がフランジ側に進展し始め、9 サイクルで梁フランジの母材部分が破断した。

一定振幅載荷 ($\mu=2$) で切削の有無による違いを破断までの繰り返し数 N_f で比較すると、切削なし (No.0-C2) では $N_f=16$ 、切削あり (No.1-C2) では 69 となり、切削をすることにより、4.3 倍程度の変形性能が向上した。これは、切削を行うことにより、破壊モードがスカラップ底のき裂進展からの破断から梁端の溶接始末端の破断に変化したことが一因であると考えられる。

(2) 正負漸増交番載荷

正負漸増交番載荷の実験結果の荷重・変形関係と最終状況を Fig.10 に示す。Fig.10 には累積塑性変形倍率 (η, η_s) も示す。累積塑性変形倍率 (η, η_s) は Fig.11 に示す塑性変形性能を評価する指標で、最大荷重から 10% 低下するまでの範囲を有効としている。

切削なし (No.0-G1) では、塑性率 2 の 1 サイクルにスカラップ底からき裂が発生し、 $\mu=4$ の 2 サイクルでスカラップ底からのき裂進展により破断に至った。また、切削あり (No.1-G1) では、 $\mu=2$ の 1 サイクルにフィレット部にき裂が、 $\mu=4$ でスカラップ底にき裂が発生した。その後、フィレット部の

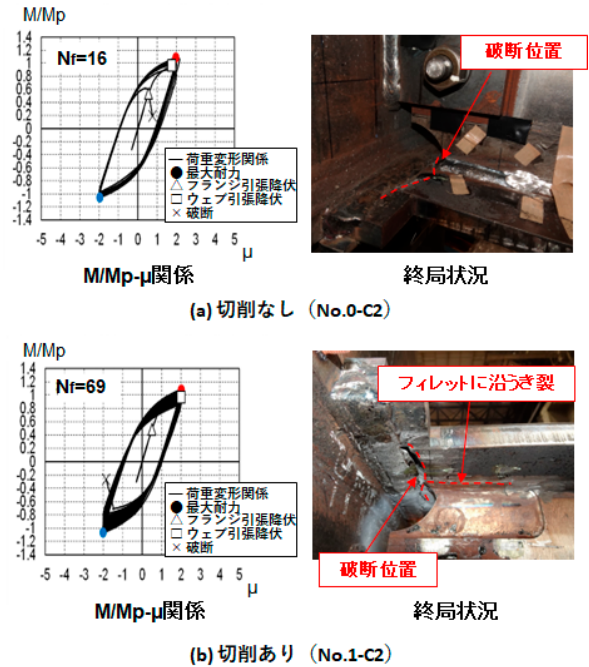


Fig.9 実験結果 (一定振幅載荷)
(Test Result of Constant Amplitude Loading)

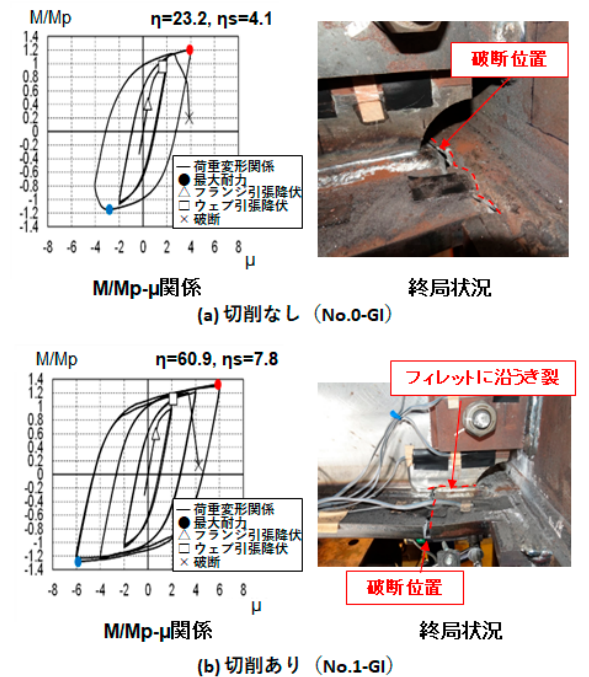


Fig.10 実験結果 (漸増交番載荷)
(Test Result Gradual Increased Amplitude Loading)

き裂は進展したが、スカラップ底からのき裂はほとんど進展せず、 $\mu=8$ のサイクルの途中でフィレット部のき裂がフランジ側に進展して梁フランジの母材部分の破断に至った。この破壊モードは一定振幅 ($\mu=4$) と同様である。

正負漸増交番载荷で切削の有無を累積塑性変形倍率 η および η_s により比較すると、切削なし (No.0-GI) では $\eta=23.2$ および $\eta_s=4.1$ 、切削あり (No.1-GI) では $\eta=60.9$ および $\eta_s=7.8$ となり、切削をすることにより、1.9~2.6倍程度の変形性能が向上した。これは、一定振幅 (塑性率2) と同様に切削をすることで破壊モードが変化し、破断までのエネルギー吸収能力が向上したためと考えられる。

(3) スカラップ底近傍のひずみ分布

切削の有無の違いにより、Fig.12 に示す梁材軸方向のひずみ

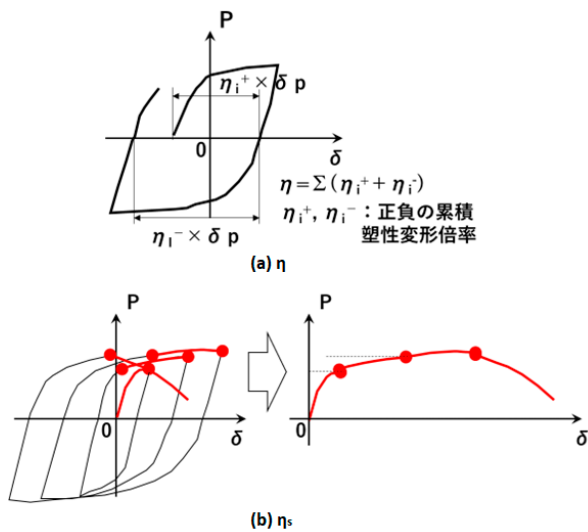


Fig.11 累積塑性変形倍率(η , η_s)の概念 (Concept of η and η_s)

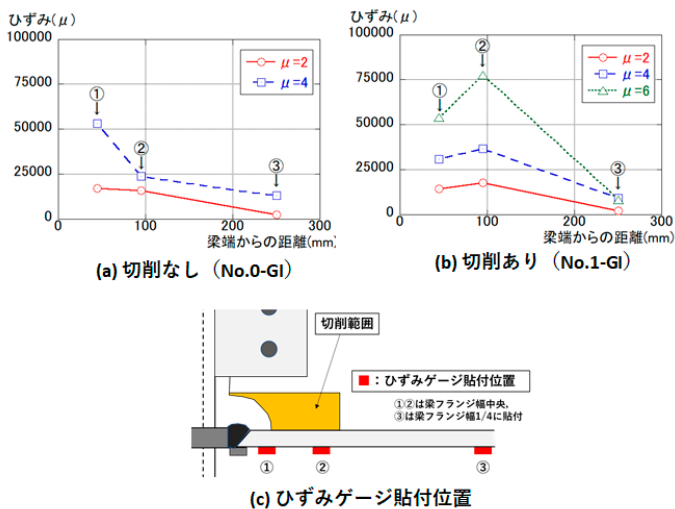


Fig.12 材軸方向ひずみ分布 (Strain Distribution along Axis of Beam Member)

み分布の比較を行う。Fig.12 は正負漸増交番载荷の正載荷ピーク変形時の分布で、Fig.12 (c) に示すように①②は梁フランジ幅中央、③は梁フランジ幅 1/4 位置のひずみ値である。

Fig.12 より、塑性率2では切削の有無でひずみ分布に大きな差異は見られないが、塑性率4ではスカラップ底近傍の①のひずみが②と比較して、切削なしでは大きくなっているのに対して、切削ありでは小さくなっており、塑性率6でも切削なしでは同様な傾向を維持している。また、塑性率4の②のひずみは切削ありの方が切削なしよりも大きくなっている。

以上より、切削を行うことにより、ウェブからの応力が切削開始位置付近 (②) から徐々にフランジに流れて、スカラップ底近傍 (①) のひずみ集中が小さくなっていることが分かった。

(4) 多数回繰り返し性能

塑性率と破断までの繰り返し数 N_f の関係を Fig.13 に示す。Fig.13 には一定振幅载荷の実験結果を描画したもので、文献6)で提案されている梁端の性能曲線も示す。この性能曲線は、様々な実験結果を基にして梁端ディテール (スカラップの有無等) により梁端破断までの繰り返し数 N_f を評価したものであり、実験式は実験結果の下限を設計式は実験式の半分の変形性能を示す。

Fig.13 により、切削なしの場合は $C=5$ (スカラップ付・実験式)、切削ありの場合は $C=8$ (高性能仕口・設計式) と同等の多数回繰り返し性能があることが分かった。ここで、切削ありの場合はスカラップ無・実験式 ($C=7$) よりも大きな繰り返し数 N_f を示していることから、ノンスカラップ梁 (フランジ・ウェブとも溶接接合) 以上の多数回繰り返し性能を保有していることが分かった。

以上より、スカラップ近傍の切削を行うことにより、現場溶接形式のスカラップ付き梁であってもノンスカラップ梁以上の変形性能を保有できることが分かった。

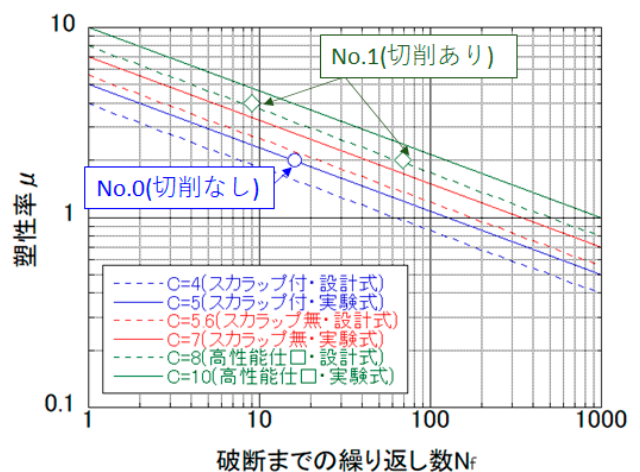


Fig.13 塑性率と破断までの繰り返し数の関係 (Relationship between Ductility Factor Amplitude and Number of Cycles of Loading)

V. おわりに

部分加工（スカラップ近傍を切削）した梁の変形性能向上効果を検証した結果、以下のことが分かった。

- 1) 梁端溶接部を部分的に取り出した引張力下での要素実験により、ウェブ厚を $t_w/2$ に減厚することで、最大変形が切削なしと比較して 1.38 倍増加することを確認した。
- 2) 要素実験の FEM によるシミュレーションを行い、部分加工によるスカラップ底の応力集中の低減効果を確認し、更に、切削範囲を変化させたパラメータスタディを行うことにより、最適と考えられる切削条件（範囲： $\alpha=2.0$ 、切削後板厚： $t_w/2$ ）を提案した。
- 3) 部分骨組実験を実施することにより、部分加工による変形性能向上効果を実際の梁の応力状態で確認し、現場溶接形式のスカラップ付き梁であってもノンスカラップ梁以上の変形性能を保有できることが分かった。

参考文献

- 1) 日本建築学会近畿支部；1995 年兵庫県南部地震 鉄骨造建物被害調査報告書，1995.5.
- 2) 鈴木康正，浅井英克，齊藤諭，平田寛，後閑章吉，芹澤

文晴，大住和正，福本義之；1/4 円型スカラップをプレート補強した鉄骨梁の構造性能，日本建築学会大会学術講演梗概集，2015.9，pp.783-784.

- 3) 原田幸博，鄭聖珉，森田耕次；鋼構造柱梁接合部の補修・補強方法に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 553 号，2002.3，pp.97-104.
- 4) 澤本佳和，久保田淳，大崎純；繰り返し変位履歴を受ける梁端の局部座屈と破断を伴う鉄骨梁の塑性変形能力評価，日本建築学会構造系論文集，第 85 巻，第 767 号，2020.1，pp.105-115.
- 5) 周志光，桑村仁；鉄骨柱-梁溶接接合部の形状ノッチおよび材質ノッチ（鉄骨接合部の応力・ひずみ状態 その 4），日本建築学会構造系論文集，第 74 巻，第 637 号，2009.3，pp.551-559.
- 6) 建築研究所；長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の耐震安全性に関する検討，建築研究資料，No.160，2014.6.

Deformation Capacity of Beam-End Connection with Partial Processing Web near Weld Access Hole

Yoshikazu Sawamoto, Jun Kubota and Keita Kohtaki

In the Hyogo-ken Nanbu Earthquake (1995), ruptures in the beam end welds of weld access holes were reported. Regarding this damage, countermeasures have been taken to prevent early fracturing by widening the beam end flanges in new construction buildings, but existing buildings have many details similar to those that suffered fracture damage. As methods for reinforcing such existing beams, a method of welding steel plates to weld access holes (local reinforcement) and a method of reinforcing the beam-end flange web (general reinforcement) have been proposed, but there are problems in design and construction.

In this paper, we propose a method for reducing the stress concentration at the bottom of the weld access hole by partially cutting (partially processing) the web thickness near the weld access hole. Through experiments such as with beam-end welding elements and sub-assembly frames, we will confirm the effect of reducing the stress concentration at the bottom of the weld access hole and the effect of improving the deformation capacity.