

未溶着を有する鋼製橋脚隅角部の 耐震性能に及ぼすフィレット寸法の影響

速水 景¹・羽田 新輝¹・森 翔吾¹・鈴木 俊光²・葛 漢彬³

¹学生会員 名城大学大学院 理工学研究科建設システム工学専攻（〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501）

²正会員 博(工) 三菱重工鉄構エンジニアリング（株）橋梁事業本部（〒730-8642 広島市中区江波沖町5-1）

³正会員 博(工) 名城大学教授 理工学部建設システム工学科（〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501）

1. はじめに

1995年1月に発生した兵庫県南部地震では、多くの構造物が甚大な被害を受けたが、神戸ハーバーハイウェイP75鋼製橋脚においては隅角部に作用した強大な地震動の繰り返し荷重に起因する脆性破壊モードが初めて確認された¹⁾。それまでの土木鋼構造物設計基準では強大な地震動による脆性的な破壊は想定されておらず、以降、各研究機関において鋼製橋脚や鋼製隅角部を模擬した縮小モデルにより低・極低サイクル疲労に着目した繰り返し載荷実験が精力的に行われてきた。しかしながら、現在においても鋼製橋脚の耐震設計において地震時の脆性破壊に関する照査基準は確立されておらず、早急な照査方法の確立が望まれるところである。

これまで筆者らは鋼製橋脚の脆性破壊を防止する観点より強大な地震力を受けた鋼構造物が脆性破壊に移行する前の延性き裂の発生に着目し、単柱式鋼製橋脚を対象に種々の実験および解析的研究を行い延性き裂発生の評価手法を提案してきた²⁾。

一方、近年では溶接構造物の施工時における溶接不具合（欠陥）の内在が問題視されてきており、三木らによって鋼製橋脚隅角部の施工不具合に関する報告がなされている³⁾が、過去に行われてきた鋼製橋脚等の実験においてはこのような溶接欠陥を有する場合の低サイクル疲労寿命に及ぼす影響に関する詳細な検討は非常に少ない。

本研究室では、これまでに完全溶け込み溶接が要求される鋼製橋脚隅角部を想定した梁-柱接合部の十字溶接部に溶接未溶着を導入し、このような不完全な溶接部を有する鋼厚肉部材の極大地震時における破壊メカニズムの解明のため、繰り返し載荷実験を行ってきた⁴⁾。また、これらの繰り返し載荷実験を元に、ソリッド要素による弾塑性FEM解析を実施した¹⁰⁾。その結果、フィレ

ット半径を大きくすることにより、溶接ビード表面部のひずみ集中を緩和し、耐震性能向上効果が得られた。また、溶接未溶着からの破壊については溶接未溶着の大きさのみならず、十字継手の溶接脚長の影響が大きいことが確認された。以上の背景より、本研究では十字継手の溶接脚長の値を既往の実験供試体より小さくし、未溶着部から破壊するように設計した供試体の繰り返し載荷実験より、溶接未溶着が内在する鋼製橋脚のフィレット半径が耐震性能に与える影響を検証した。

2. 実験概要

(1) 実験供試体

実験供試体は鋼製橋脚と横梁の剛結構造からなる隅角部を模擬した無補剛厚肉断面の梁-柱の接合部としている。供試体の使用材質は、実橋脚で使用が多いSM490YAであり、板厚は12mmとした。供試体および仕上げの概要図を図-1に示す。

供試体の柱部にはそれぞれ h_1 、 h_2 、 h_3 の間隔で、梁部には L_1 、 L_2 、 L_3 の間隔でダイヤフラムが設置されている。なお、前述の通り、供試体は鋼製ラーメン橋脚の隅角部を想定しており、実橋脚との対比では供試体の柱部が実橋の梁、梁部が実橋の柱となる。

本供試体の梁-柱交差部には実橋脚を想定し、フィレットを設けている。通常の隅角部には応力緩和の目的で $R=100\text{mm}$ 程度から、最近では梁高さの10～20%程度の大きさのフィレットが設けられている。筆者らの既往の研究では、本研究と同様の供試体においてフィレット高さを30mmとした場合、その多くがフィレット上端部から延性き裂が発生することが確認されている⁴⁾。

供試体における梁-柱交差部の十字継手溶接部はビード表面の曲面仕上げ（R仕上げ）とし、R仕上げの半径

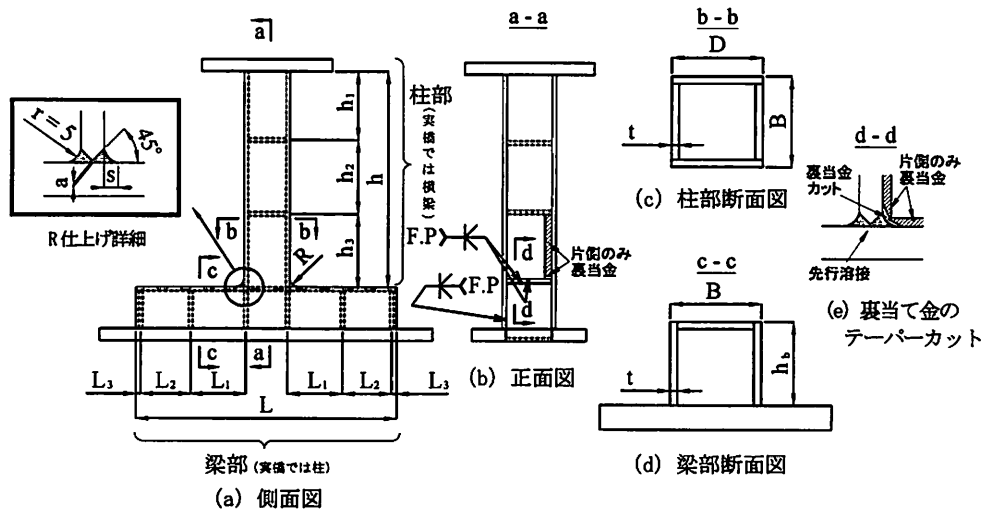


図-1 供試体概要図

は 5mm 程度とした。溶接仕上げに関して、R 仕上げと止端仕上げの 2 種類が挙げられるが、一般的に溶接部の仕上げで適用されることの多いのは止端仕上げである。しかし、R 仕上げのようにビード表面も滑らかに仕上げた場合、ひずみ集中を緩和させる効果が期待されるため、今回 R 仕上げの場合について実験を行った。なお、仕上げ部はグラインダー等による仕上げ傷が残らないように留意するとともに、ビード形状の凹凸に伴うひずみ集中の影響をできるだけ少なくするために、三線交差部の三方向からの溶接ビードラップ部分の余盛を取り除いた。また、本供試体は実構造の鋼製橋脚隅角部の板組や隅角部の溶接仕上げ方法を再現して製作を行っている。実際には梁-柱におけるフランジ交差部の十字溶接部を先行で溶接施工した上で、フランジとウェブの溶接を行った。なお、供試体のサイズ制約および組み立て手順より、最後に溶接を行う梁・柱のウェブおよび柱内のダイヤフラム（梁の控えフランジ）については裏当て金による片面裏波溶接とした（図-1(b)）。また、裏当て金が十字溶接にかかる部分はテーパークットし、溶接部に当たらないよう配慮した（図-1(e)）。

一般的な隅角部の設計においては、梁-柱幅の 1/2 程度を剛域として構造解析を行い、塑性化を許容しない設計が行われるが、供試体の設計において、柱についてはクラック発生前に繰り返し荷重に伴う母材の局部座屈による耐力低下を防止するために幅厚比パラメータ R_f を 0.3 として設計を行い、その断面を梁にも適用して隅角部を構成した。幅厚比パラメータは次式により定義される。

$$R_f = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 \cdot 4n^2}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (1)$$

ここに、 b =フランジの板幅、 t =フランジの板厚、 σ_y =降伏応力、 E =弾性係数、 ν =ポアソン比、 n =サブパネル数（本研究の対象は無補剛断面であるため $n=1$ ）で

ある。

供試体の名称はそれぞれ、S（鋼製部材）30（幅厚比パラメータの 100 倍の値）-8（十字溶接部に内在する溶接未溶着高さ）-100（フィレット半径）-R（溶接仕上げ内容）-VC（載荷パターン）-MD（脚長変更（ $s=5\text{mm}$ ））を表す。

今回実験に用いた供試体の実測寸法と、構造パラメータを表-1、表-2 にそれぞれ示す。過去の実験¹⁾では、未溶着高さの値が $a=5\text{mm}$ から $a=8\text{mm}$ になると、き裂発生時期が大幅に早くなった。一方、フィレット半径を大きくしても溶接未溶着部からき裂が発生したものの、き裂発生時期を遅らせることができ、フィレットによる溶接部のひずみ集中緩和効果が得られた。以上のことより、本供試体の未溶着高さの設計値は $a=8\text{mm}$ とし、前述した実橋脚のフィレット設計思想も踏まえ、フィレット半径の設計値を $R=30\sim 100\text{mm}$ とすることで、非常に大きな溶接未溶着が内在する構造物のフィレット半径の大きさによって、き裂発生・進展に与える影響を明らかにすることを目的とする。また、極力小さなフィレット半径 $R=5\text{mm}$ を設けたのは、フィレットのない橋脚を想定してためであり、構造上、溶接ビードが 3 方向から交差するために、製作上においても最低半径 $R=5\text{mm}$ 程度のフィレットが必要となる。

表-3 に本実験で用いた材料の引張試験結果を示す。材料定数は、供試体の製作に使用した鋼材の引張試験により求めた応力-ひずみ曲線から、弾性域での直線部分を最小二乗法により近似した傾きからヤング係数 E 、降伏棚での応力の平均より降伏応力 σ_y 、ひずみ硬化開始時の傾きを最小二乗近似して得た傾きよりひずみ硬化係数 E_{sh} 、 $\sigma_y=E_{sh}\epsilon_y$ の関係から得た降伏ひずみ ϵ_y を求めた。さらに、横ひずみのグラフにおける初期の直線部分を最小二乗近似して得た傾き E_1 と E の比からポアソン比 ν を求めた。

表-1 供試体の実測寸法

(単位: mm)

供試体名	h	h_1	h_2	h_3	h_b	L	L_1	L_2	L_3	B	D	t	R	a	s	r_a
S30-8-5-R-VC-MD	670	225	225	225	165	858	168	164	16	175	175	12.07	5	7.9	6.0	3.2
S30-8-15-R-VC-MD	670	225	225	225	164	860	168	164	16	175	176	12.22	17	6.9	6.4	3.9
S30-8-30-R-VC-MD	670	225	225	225	163	860	168	164	16	175	176	12.22	29	7.0	9.4	5.1
S30-8-50-R-VC-MD	668	225	225	225	166	858	168	164	16	175	176	12.20	52	9.2	4.5	2.0
S30-8-100-R-VC-MD	668	225	225	225	166	858	168	164	16	175	176	12.20	101	9.4	10.1	4.9

Notes:

- 1) h =柱部高さ (梁フランジ表面から、 $=h_1+h_1+h_1-t/2$)、 L =梁部高さ、 B =フランジ幅、 D =ウェブ幅、 t =板厚、 R =フィレットの半径、 a =溶接未溶着高さ、 s =ビード脚長、 r_a =のど厚
- 2) 供試体について、例) S30-○-△-R-VC-MD、S: 鋼製、30: 幅厚比パラメータの小数点以下2桁、○: 未溶着高さ、△: フィレット半径、R: 仕上げ性状 (R: R仕上げ)、VC: 両振漸増変位振幅載荷、MD: 脚長変更区分 を表す。

表-2 構造パラメータ、降伏荷重と降伏変位

供試体名	R_f	$\bar{\lambda}$	H_y (kN)	δ_y (mm)
S30-8-5-R-VC-MD	0.288	0.305	192	4.45
S30-8-15-R-VC-MD	0.313	0.322	216.9	4.98
S30-8-30-R-VC-MD	0.313	0.324	215.2	5.00
S30-8-50-R-VC-MD	0.314	0.325	222.3	5.05
S30-8-100-R-VC-MD	0.314	0.325	222.3	5.05

Note: R_f =幅厚比パラメータ、 $\bar{\lambda}$ =細長比パラメータ、 H_y =降伏水平荷重、 δ_y =降伏水平変位

表-3 鋼材の引張試験結果

σ_y (MPa)	ε_y (%)	σ_u (MPa)	ε_u (%)	ν	E (GPa)	E_{σ} (GPa)	ε_{σ} (%)
384	0.182	532	25.7	0.285	211	4.6	2.21

Note: σ_y =降伏応力、 ε_y =降伏ひずみ、 σ_u =引張強さ、 ε_u =破断ひずみ、 ν =ポアソン比、 E =ヤング率、 E_{σ} =ひずみ硬化開始時の硬化係数、 ε_{σ} =ひずみ硬化開始時のひずみ

(2) 実験装置概要

本実験の実験装置の概略図を図-2に示す。水平方向の荷重は載荷フレームの柱に固定したアクチュエータ (± 1000 kN) により載荷を行い、2本のアクチュエータの水平ストロークにより供試体頂部に水平変位が与えられる仕組みになっている。またアクチュエータの先端にはヒンジを取り付け、常に水平方向に載荷できる構造となっている。供試体と架台および載荷版、架台と載荷フレーム間はそれぞれ高力ボルトで連結した。

なお、本実験は隅角部の板組および十字継手部の溶接性状に着目した実験であり、供試体の梁部をベースプレートに固定しており、実際の梁-柱からなる隅角部の曲げ性状を完全に再現するものではないが、この影響は今後、解析を含め検討予定である。

(3) 載荷パターン

載荷方法については降伏水平変位 δ_y を基準とした変動変位振幅繰り返し載荷とした。図-3 に載荷パターンを示す。

3. 実験結果

き裂の発生および進展挙動については載荷中の各ステップおよび載荷変位の折り返し点で目視とデジカメの画像による確認とき裂寸法の計測を行った。そのため、き裂確認時点と実際のき裂発生点が異なる可能性がある。したがって、本研究では、き裂発生タイミングを実際より遅く評価することを避けるために、き裂発生時期の定義は文献2)と同様にした。

図-4には隅角部の角部番号およびき裂長さの定義を示

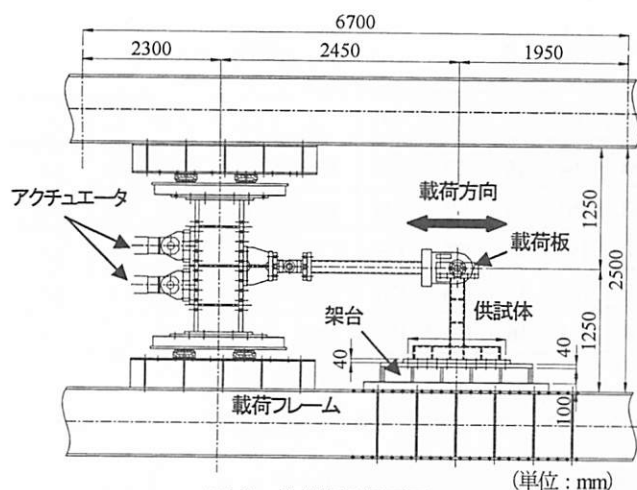


図-2 荷重装置概要図

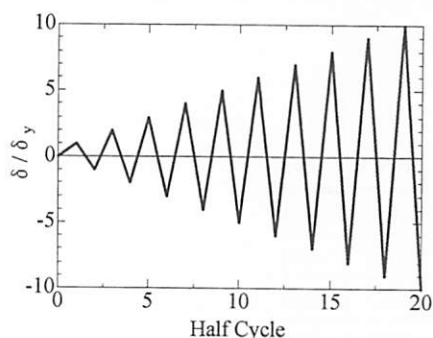


図-3 荷重パターン

す。本実験では目視によりき裂が1~2mm程度に達した時をき裂発生と定義した。なお、き裂長さはき裂両端の直線距離をき裂長さとし、これを L_c とする。なお、3(2)節で後述するき裂発生高さは梁フランジ上面からの鉛直高さで示す。

(1) 破壊モード

写真-1にS30-8-5-R-VC-MD, S30-8-15-R-VC-MD, S30-8-30-R-VC-MD, S30-8-50-R-VC-MD, S30-8-100-R-VC-MDの荷重終了時の十字継手部拡大写真を示す。全ての実験供試体において、今回設けたフィレット半径の値に関係なく、溶接未溶着が内在する十字継手方向に沿って破壊が進行し、大幅に荷重が低下したのち実験を終了した。つまり、フィレット半径 $R=100\text{mm}$ を用いても、溶接未溶着部からのき裂発生を防ぐことができなかった。また、実験終了時である写真-1のき裂長さをみると、フィレット半径 $R=5\text{mm}$ は160.6mmであり、 $R=100\text{mm}$ のき裂長さは143.5mmである。因みに供試体のフランジ幅からウェブ板の板厚を差し引くと約150mmとなり、この長さで溶接未溶着が十字継手方向に内在している。したがって、 $R=5\text{mm}$ のき裂長さのように150mm以上では、未溶着部から発生したき裂がウェブ板母材に進展していることを示しており、文献9)のようにウェブ板のき裂がせん断破壊を伴って進展することが推測される。一方、フィレ

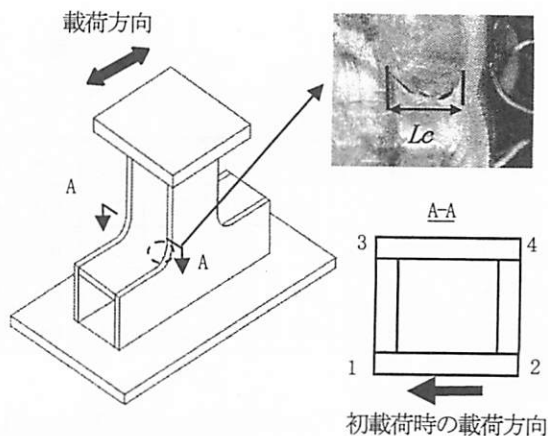


図-4 隅角部の角番号とき裂長さの定義

ト半径 $R=100\text{mm}$ では、き裂長さが150mm以内に留まり、き裂がウェブ板に進展することなく、フィレットが面外に変形することで荷重が徐々に低下し実験を終了した。

兵庫県南部地震での鋼製橋脚では隅角部で発生したき裂がウェブ板、更には外周一回りまで進展するような非常に危険な破壊モードが確認された。しかしながら、今回の実験のようにフィレット半径 $R=100\text{mm}$ の供試体において、溶接未溶着部で発生したき裂がウェブ板母材に進展していないことより、地震動のような衝撃力が加わった場合、脆性的な破壊による急激な荷重低下を免れる可能性がある。

(2) 破壊発生時期および発生位置の比較

図-5, 6に各供試体における破壊発生点、破壊が最も進展した供試体の進展長さの比較を、写真-2に各供試体の断面切断状況を、表-4に破壊発生点および発生高さの比較を示す。図-5において、○：フィレット半径 $R=5\text{mm}$, △： $R=15\text{mm}$, □： $R=30\text{mm}$, ▽： $R=50\text{mm}$, ×： $R=100\text{mm}$ の破壊発生点を示す。

破壊発生時期において、フィレット半径 $R=15\text{mm}$ の供試体が3半サイクルで最も早く発生し、 $R=100\text{mm}$ の供試体が8半サイクルと発生が最も遅い結果となった。フィレット半径 $R=0\sim 50\text{mm}$ の供試体では、フィレット半径の値に関係なく発生時期に大きな違いが見られない。しかし、フィレット半径 $R=100\text{mm}$ のように梁高さの約45%という非常に大きなフィレットを設けると、最大で5半サイクル発生時期が遅くなり、フィレット半径の値の変動による破壊発生時期の違いが見られた。

写真-2の断面写真を見ると、き裂は溶接未溶着内部から発生し、十字継手ビード表面に進展していることが確認される。また、図-6の破壊進展長さより、未溶着部からき裂が起こったため、いずれの供試体においても急激に破壊が進行していることが分かる。

次に、表-1の未溶着高さと溶接脚長の実測寸法を各供試体毎に比較すると、フィレット半径 $R=100\text{mm}$ の供試

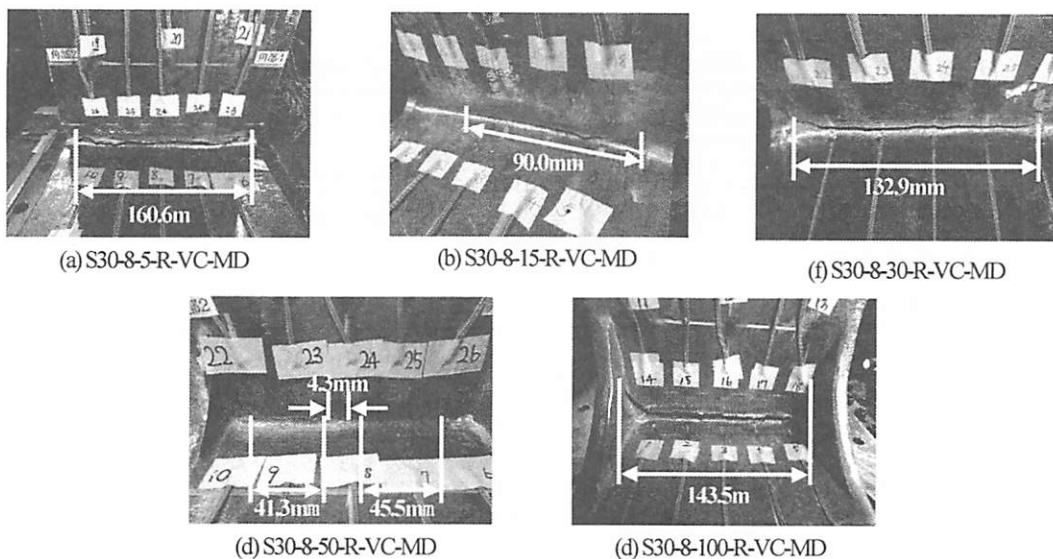


写真-1 各供試体の破壊モード

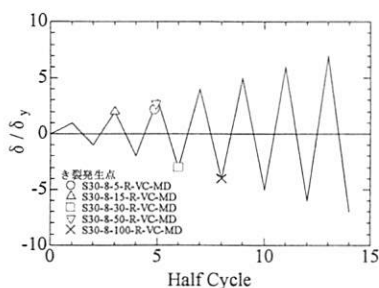


図-5 各供試体のき裂発生点までの半サイクル数比較

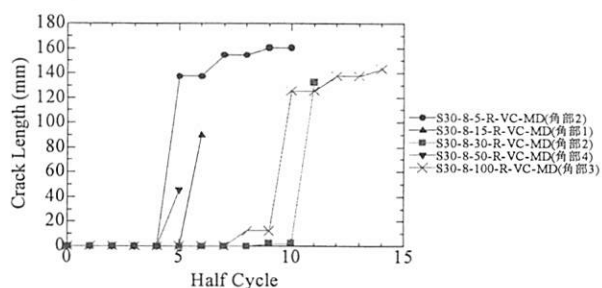


図-6 各供試体のき裂進展状況

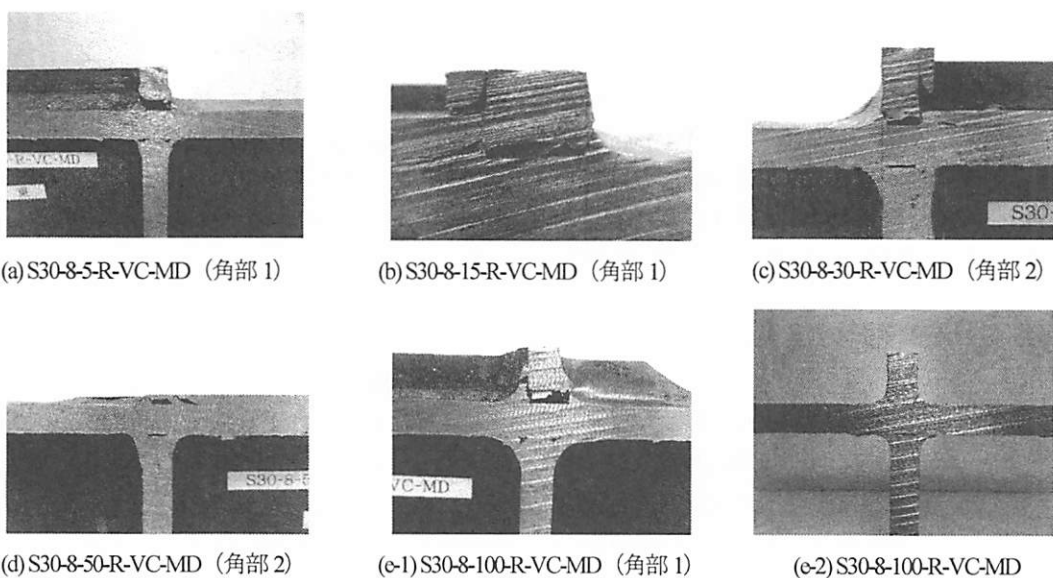


写真-2 き裂発生近傍の断面および近接写真

体では、未溶着高さの値が最も大きく非常に危険と考えられるが、フィレット半径と溶接脚長の値は各供試体の中で最大であり、き裂発生時期が最も遅い、そして、フィレット半径 $R=50\text{mm}$ の供試体では、未溶着高さの値が非常に大きく、溶接脚長は最も小さな値であるのに対して、各供試体の中で最も早くき裂が発生しなかった。以上を踏まえ、溶接未溶着部からき裂が生じる今回のよ

うな実験供試体において、十字継手部に内在する未溶着高さ、溶接脚長の他にフィレット半径の大きさも破壊過程の支配的要因となることが考えられる。

すなわち、フィレットは通常、隅角部の応力緩和の目的で設けられているが、溶接未溶着部近傍のひずみ集中緩和にも効果があることが今回の実験において確認された。

表-4 き裂発生点および発生位置の比較

供試体名	実験でのき裂発生点	定義上でのき裂発生点	き裂発生高さ(mm)
S30-8-5-R-VC-MD	4 Half Cycle ($-2\delta_y \rightarrow 3\delta_y$)	3 Half Cycle ($2\delta_y$)	2.7mm
S30-8-15-R-VC-MD	3 Half Cycle ($2\delta_y$)	1 Half Cycle ($1\delta_y$)	2mm
S30-8-30-R-VC-MD	6 Half Cycle ($-3\delta_y$)	4 Half Cycle ($-2\delta_y$)	5mm
S30-8-50-R-VC-MD	4 Half Cycle ($-2\delta_y \rightarrow 3\delta_y$)	3 Half Cycle ($2\delta_y$)	1.5mm
S30-8-100-R-VC-MD	8 Half Cycle ($-4\delta_y$)	6 Half Cycle ($-3\delta_y$)	1.7mm

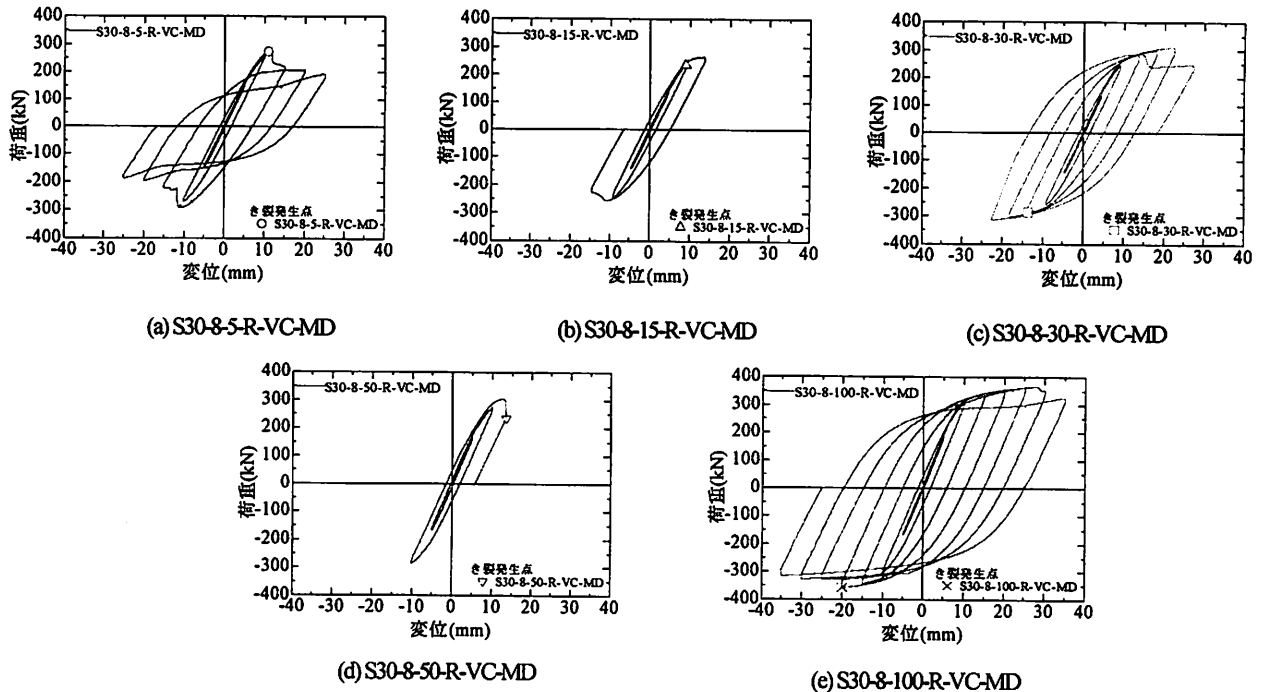


図-7 水平荷重－水平変位関係

(3) 水平荷重－水平変位関係

図-7に実験供試体の水平荷重－水平変位履歴曲線を示す。本研究のこれまでの実験では、各サイクルの折り返し時点の荷重が最大荷重に比べて10%以上低下した場合、実験を終了していた。しかしながら、図-7(a), (e)のフィレット半径 $R=5, 100\text{mm}$ の供試体において、最大荷重より10%以上低下しても実験を続けた。

同図より、全体的に初期剛性は一致しており、フィレット半径が大きいと最大荷重が高い傾向にある。

一方、き裂が発生した後、数半サイクル以内に急激に破壊が進展したため、水平荷重が大きく低下していることが分かる。未溶着内部で起きた破壊が十字継手方向に沿って進展し、十字継手の柱部フランジ板を繋ぐ溶接部が破壊されフリーになった状態である。しかし、荷重低下した後、実験供試体は崩壊に至らず、荷重が安定する現象が見られた。これは、フランジ板の溶接十字継手が破壊されたが、フィレットを有するウェブ板が荷重を受け持ち、急激な崩壊に至らなかったと考えられる。そして、ウェブ板のみで繰り返し載荷を行う最中、フィレットが面外に座屈しながら耐荷力が徐々に低下していった。

また、図-7(a), (e)のフィレット半径 $R=5, 100\text{mm}$ の供試体を比較すると、フランジ板の溶接部が破壊された後の水平荷重の低下率は、フィレット半径 $R=100\text{mm}$ の方が緩やかな履歴で安定しており、フィレット半径の値による荷重低下率の違いも確認できる。

(4) ひずみ履歴

本実験におけるひずみの測定箇所、ゲージ番号を図-8に示す。ひずみの測定箇所は、柱フランジ側はひずみゲージNo.1～No.2, No.5～No.6のき裂が起こった面の隅角部付近の初期にき裂が起こった角部付近のひずみをピックアップした。ひずみゲージは2mmの塑性ゲージ(YFLA-2：東京測器研究所)を使用した。

図-8に各供試体のひずみ履歴を示す。同図より、き裂発生時期の実験供試体フランジ表面のひずみが約0.15～2.0%と非常に小さい値で破壊が起こっている。しかし、過去の実験⁹⁾のように未溶着部からでなく、フィレット上端部からき裂が発生するような実験供試体において、ひずみの値が約5%でき裂が発生していることより、今回の供試体はひずみゲージを貼付した柱フランジの部材

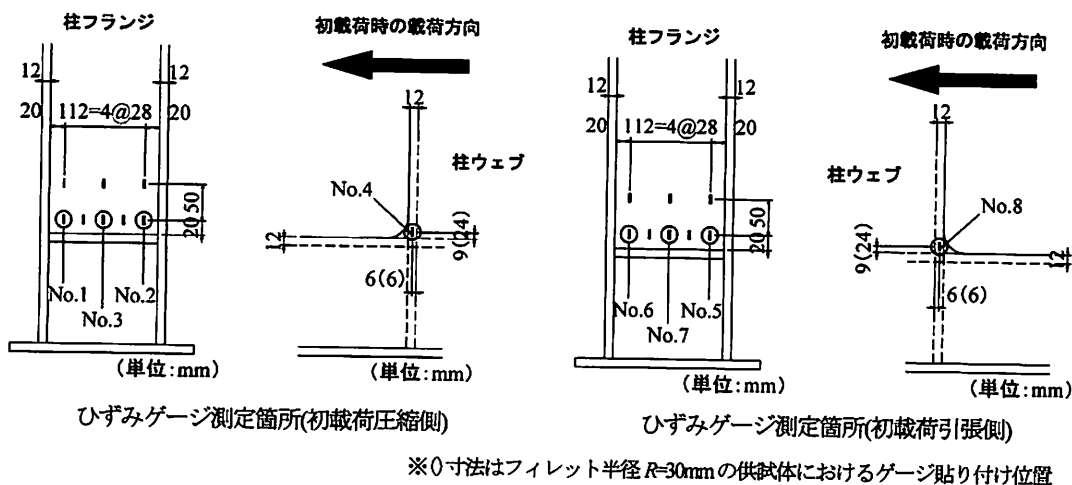
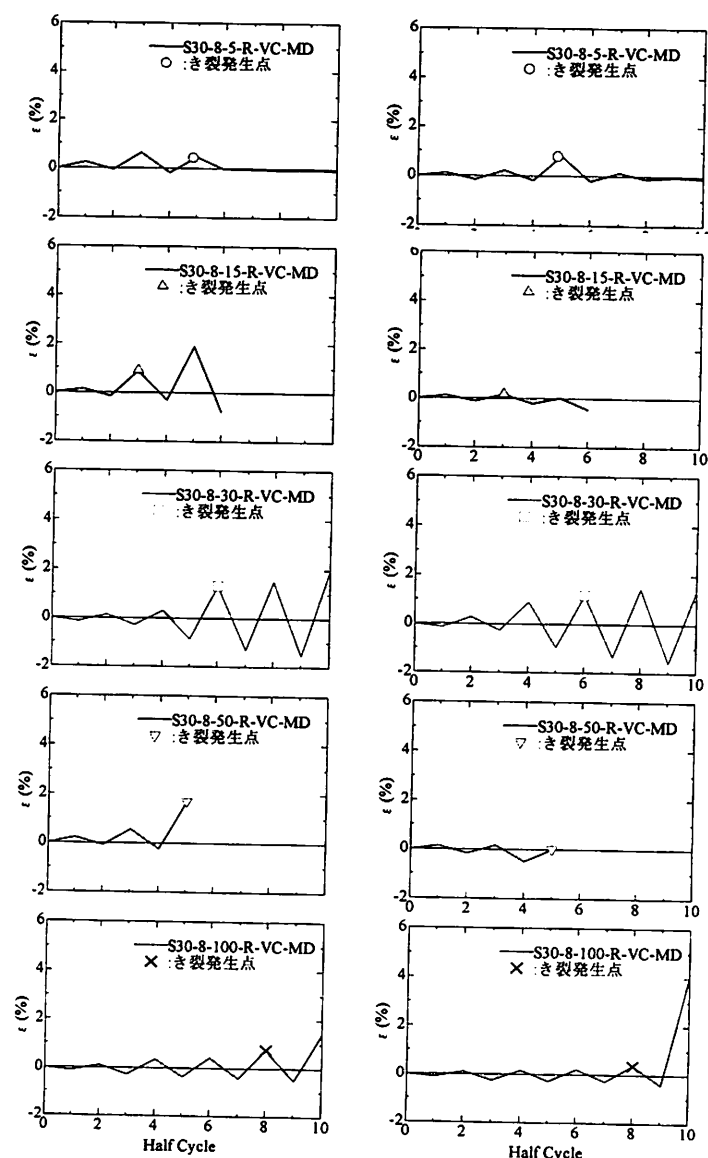


図-8 ひずみゲージ貼り付け位置図およびゲージ番号



(a) No.1, No.5

(b) No.2, No.6

図-9 ひずみ履歴

表面でなく、溶接未溶着近傍でひずみが集中し、そこからき裂が発生していることが分かる。

4. 結論

本研究では十字継手の溶接脚長の値を既往の実験供試体より小さくし、未溶着部から破壊するように設計した供試体を繰り返し荷重実験を行うことにより、き裂発生・進展挙動を明らかにし、き裂発生・進展状況、水平荷重—水平変位関係、ひずみ履歴の面から大きな溶接未溶着が内在する鋼製橋脚のフィレット半径が耐震性能に与える影響を検証した。得られた知見を以下に示す。

- 1) フィレット半径の値に関係なく全ての実験供試体において、溶接未溶着部からの破壊モードが確認された。
- 2) フィレット半径 $R=0\sim 50\text{mm}$ の供試体では、き裂発生時に大きな違いが見られないものの、フィレット半径 $R=100\text{mm}$ のように梁高さの約45%という非常に大きなフィレットを設けると、最大で5半サイクル発生時期が遅くなり、フィレット半径の値の変動による破壊発生時期の違いが見られた。
- 3) 溶接未溶着部からき裂が発生する今回のような実験供試体において、十字継手部に内在する未溶着高さ、溶接脚長の他にフィレット半径の大きさが破壊過程の支配的要因となることが考えられる。
- 4) フィレットは隅角部の応力緩和の目的で設けられているが、溶接未溶着部近傍のひずみ集中緩和にも効果があることが今回の実験において確認された。
- 5) き裂長さは終局状態付近で急激に進展した。これは、き裂が十字継手の溶接未溶着部内部に沿って進展し、溶接表面部へ急激に進展したと考えられる。
- 6) 荷重低下した後、フランジ板の十字継手が破壊しても

実験供試体は崩壊に至らず、ウェブ板で荷重を受け持つことにより荷重が安定する現象が見られた。

- 7) フィレット半径 $R=5, 100\text{mm}$ の供試体の水平荷重の低下率を比較すると、フィレット半径 $R=100\text{mm}$ の方が緩やかな履歴で安定しており、フィレット半径の値による荷重低下率の違いが確認できた。
- 8) き裂発生時期の実験供試体フランジ表面のひずみが約0.15～2.0%と非常に小さい値でき裂が発生しており、部材表面のひずみが小さい状況でも未溶着部から破壊が起こり、脆性的な破壊を生じる可能性が高い。
- 9) フィレット半径が $R=100\text{mm}$ のように大きくなると、未溶着部で発生したき裂がウェブ板母材に進展せずフランジ板に留まり、脆性的な破壊による極めて危険な破壊モードをを免れる可能性がある。

謝辞：本研究の一部は、平成24年度に採択された科学研究費補助金・基盤研究(C)（研究代表者：葛 漢彬；課題番号：24560588）の助成を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) 岡下勝彦, 大南亮一, 道場康二, 山本晃久, 富松実, 丹治康行, 三木千壽：兵庫県南部地震による神戸港湾幹線道路P75橋脚隅角部におけるき裂損傷の原因調査・検討, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.243-261, 1998.4.
- 2) 葛漢彬, 大橋正稔, 田島僚：鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂の発生とその進展に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.493-502, 2007.3.
- 3) 葛漢彬, 津村康裕：鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂発生の評価に関する実験的および解析的研究, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.605-616, 2009.3.
- 4) 葛漢彬, 藤江渉, 田島僚：鋼構造物の延性き裂発生の評価法の実験データによる検証, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.617-628, 2009.3.
- 5) 鈴木俊光, 葛漢彬, 藤江渉：繰り返し荷重を受ける鋼製橋脚隅角部の延性き裂発生評価に関する実験データによる検証, 第13回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.229-234, 2010.2.
- 6) 葛漢彬, 藤江渉, 岩田勝成：ランダムな繰り返し載荷を受ける鋼製橋脚の延性き裂発生・進展挙動及び照査法の検証, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.342-355, 2010.3.
- 7) 三木千壽, 平林泰明：施工の不具合を原因とする疲労損傷, 土木学会論文集A, Vol.63, No.3, pp.518-532, 2007.7.
- 8) 鈴木俊光, 葛漢彬, 小野恵亮：完全溶け込み溶接部に未溶着を有する鋼厚肉部材の延性き裂発生に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.479-489, 2011.3.
- 9) 葛漢彬, 鈴木俊光, 速水景, 岩田勝成：異なる溶接未溶着幅を有する鋼部材の延性き裂発生と進展性状に関する実験的研究, 土木学会第66回年次学術講演会, I-183, pp.365-366, 2011.9.
- 10) 速水景, 鈴木俊光, 羽田新輝, 葛漢彬：未溶着を有する鋼製橋脚隅角部の溶接ビード脚長の変更による延性き裂発生への影響に関する解析的研究, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, I-13, pp.25-26, 2012.3.
- 11) 羽田新輝, 速水景, 鈴木俊光, 葛漢彬：ルートギャップが存在する鋼厚肉部材の未溶着高さおよびフィレット半径の違いによる延性き裂発生・進展への影響に関する実験的研究, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, I-10, pp.19-20, 2012.3.