ルートギャップを有さない十字継手部の 溶接欠陥が鋼製橋脚梁-柱接合部の 延性き裂発生・進展に及ぼす影響

葛 漢彬¹·加藤 弘務²·羽田 新輝³

¹フェロー 名城大学教授 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

E-mail: gehanbin@meijo-u.ac.jp

²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) E-mail: 100425075@ccalumni.meijo-u.ac.jp

3正会員 大日コンサルタント株式会社 (〒500-8384 岐阜市薮田南 3-1-21)

E-mail: hada-shinki@dainichi-consul.co.jp

本研究は、鋼製橋脚隅角部における十字継手部の溶接脚長や溶け込み深さの分布による、延性き裂の発 生・進展への影響を明らかにすることを目的とし、鋼製橋脚隅角部の十字継手内に溶接未溶着が内在する 実験供試体を製作、繰り返し載荷実験を行った一連の研究の一環として行ったものである.既往の研究で は十字継手溶接部に、0.5mmのルートギャップが設けられていたが、本研究ではルートギャップが存在し ない場合における延性き裂の発生・進展挙動を明らかにした.その結果、全体的な傾向として、ルートギ ャップが存在する供試体を用いた実験結果と似通っており、ルートギャップが存在しない場合においても、 存在する場合と同じ傾向があることを確認し、ルートギャップが 0.5mm 程度の場合ではルートギャップ の有無に大きな違いがないことが明らかになった.

Key Words : ductile crack, beam-column connection, welding defect, leg length, cyclic loading, extremely low cycle fatigue, thick-walled steel membe,

1. 序論

近年,溶接構造物の施工時における溶接不具合(欠陥)が問題視されてきていることを受け¹⁾,筆者らは本 来完全溶け込み溶接が要求される鋼製橋脚隅角部の三線 交差部ならびに十字継手内部に溶接未溶着が存在する場 合を想定し,溶接未溶着や十字継手部の溶接性状が地震 時の延性き裂発生に与える影響について実験的研究を行 い,報告を行ってきた²⁾

これらの研究で、板厚12mmに対して未溶着高さが 2mm程度(板厚の16%程度)を超える箇所では、未溶着 部を起点とした延性き裂が発生する危険性があり、未溶 着高さが大きいほど、き裂進展が急激なものとなる一方、 溶接ビード脚長が十分(板厚12mmに対して15mm程度以 上)大きければ、比較的大きな溶接未溶着が存在する場 合においても、致命的な耐震性能の低下を避けられる可 能性があることが示された.しかしながら、これらの研 究で用いられたすべての供試体における十字継手溶接部 には、0.5mmのルートギャップが設けられているため、 ルートギャップが存在しない場合における延性き裂の発 生・進展挙動は明らかになっていない.

そこで、本研究では十字継手溶接部のルートギャップ をあえて設けずに製作した供試体による繰り返し載荷実 験を行い、ルートギャップが存在しない場合における、 十字継手部の溶接性状が延性き裂発生・進展挙動へ及ぼ す影響を調べた.また、載荷パターンについて1サイク ル毎の漸増変位振幅繰り返し載荷に加え、一定変位振幅 繰り返し載荷についても実験を行い、載荷直後から大き な変位が発生する場合のき裂進展挙動について検討した.



表-1 供試体構造パラメータ一覧

供試体名	h	h_b	L	В	D	t	R	S	d	а	<i>r</i> _a	鋼板 No.
S30-5-30-R-VC-NRG-1	669	166	859	175	176	12.11	29.0	7.2	3.9	4.1	2.9	1
S30-5-30-R-VC-NRG-2	669	164	858	175	175	12.15	29.3	10.0	2.4	7.3	3.1	2
S30-8-30-R-VC-NRG-1	670	166	858	176	177	12.11	31.0	6.9	1.7	8.8	2.4	1
S30-8-30-R-VC-NRG-2	669	164	858	175	175	12.15	29.2	10.7	2.2	7.7	3.4	2
S30-5-30-R-CC-NRG	669	164	858	175	175	12.15	29.0	9.6	2.3	7.6	3.4	2
S30-8-30-R-CC-NRG	669	164	858	174	175	12.15	30.0	13.1	2.2	7.7	3.6	2
	7	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	- V D		신금 D	1	= <u>+</u>			1 1/4		× + + + +

Note:h=柱部高さ,h=梁部高さ,L=梁部長さ,B=フランジ幅,D=ウェブ幅,t=板厚,R=フィレット半径,s=溶接ビー ド脚長, d=溶け込み深さ, a=未溶着高さ, ra=のど厚(s, d, a, raは切断面の計測平均値).

表—2	鋼材の引	張試験結果
~ -		I VER VUICIE

鋼板 No.	σ_y (MPa)	$\varepsilon_y(\%)$	σ_u (MPa)	ε_u (%)	v	E(GPa)	E_{st} (GPa)	\mathcal{E}_{st} (%)
1	363.7	0.187	511.5	25.5	0.275	194.1	4.90	1.04
2	395.6	0.186	522.6	24.5	0.295	212.4	3.89	1.31

Note: σ_v =降伏応力, ϵ_v =降伏ひずみ, σ_u =引張強さ, ϵ_u =破断ひずみ, v=ポアソン比, E=ヤング率, E_x =ひずみ硬化開始 時の硬化係数, Ex=ひずみ硬化開始時のひずみ.

2. 実験概要

(1) 実験供試体

実験供試体の概要図を図-1に示す.実験供試体はこ れまでの研究と同様に、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ー柱の接合部 であり、板組はウェブ優先の板組(WW板組)となって いる. 鋼種は実橋脚での使用が多いSM490クラスの鋼材 であり、板厚は12mmとしている.三線交差部には半径 R=30mmのフィレットを設けている.

表-1に供試体各部の寸法を、表-2に試体作成に用い た鋼板の引張試験結果を示す.表-1に示す測定値は設 計値ではなく実測値の平均である.溶接脚長sは梁部側 の脚長であり、各供試体の溶け込み深さが様々であるこ

とから、のど厚r_aは梁フランジと柱フランジの延長線の 交点から溶接ビード表面までの最短距離とし、溶接脚長 と溶け込み深さの合計値を「総溶接脚長」と定義してい る.

写真-1に十字継手部の拡大写真を示す. 文献3)-5)で 用いた供試体(従来の供試体)はルートギャップが確認 できるが、本研究で用いる供試体はルートギャップが存 在せず、未溶着部においても梁フランジと柱フランジの 母材は接触した状態である.

本研究では実験結果を示す際、供試体の各角部に対し て図-2に示す角部番号を用いる.番号は初載荷圧縮側 に角部1および角部3,初載荷引張側に角部2および角部4 となるように設けている. また, 以降に示すき裂長さL は、同図中右上に示すように、き裂両端の水平方向距離





(2) 実験方法

実験装置については文献3),4)と同様であるため、同論 文を参照されたい.

載荷パターンは1サイクル毎に1 δ , (4.8mm) 増加する漸 増変位振幅繰り返し載荷 (VC: Varying Amplitude Cyclic Loading) と,変位を±5 δ ,とした一定変位振幅繰り返し 載荷 (CC: Constant Amplitude Cyclic Loading) の2種類の載 荷パターンを採用した.各Half Cycleの折り返し点での荷 重が,載荷履歴中の最大荷重の90%以下になったとき, 載荷を中止した.

3. 実験結果

(1) 履歴曲線およびき裂進展の比較

図-3 に全供試体の水平変位-水平荷重履歴曲線を示す. 図中の横軸は供試体頂部の水平変位を降伏変位で除

したもの、縦軸は水平荷重を降伏荷重で除したものである.

S30-5-30-R-VC-NRG-1 と S30-8-30-R-VC-NRG-1 では表-1 に示すように溶接ビード脚長 s に大きな差はなく,未 溶着高さ a がそれぞれ 4.1mm, 8.8mm となっている. こ の 2 つの供試体について水平変位-水平荷重履歴を比較 すると, S30-5-30-R-VC-NRG-1 ではき裂進展に伴い徐々 に荷重が低下していることに対し, S30-8-30-R-VC-NRG-1 では,初期の傾き等は S30-5-30-R-VC-NRG-1 とほぼ等 しいものの,き裂発生から早い段階で耐荷力が低下して おり,履歴曲線の形状に大きな差がみられる. この差は 未溶着高さの違いによる影響と考えられる.

S30-5-30-R-VC-NRG-2 と S30-8-30-R-VC-NRG-2 では溶接 ビード脚長および未溶着高さについて設計値通りに製作 できておらず, 表-1 に示すように,溶接ビード脚長 *s* はそれぞれの供試体について 10.0mm, 10.7mm であり, 未溶着高さ *a* はそれぞれ 7.3mm, 7.7mm である. この 2 つの供試体では水平変位-水平荷重関係が先の S30-5-30-R-VC-NRG-1 と S30-8-30-R-VC-NRG-1 に比べ似通った形



図-4 各供試体のき裂進展比較図



(a) S30-5-30-R-VC-NRG-1



(b) S30-8-30-R-VC-NRG-1写真-2 荷重 10%低下時(実験終了時)の破壊様式

状となった.一方,図-3(b)に示す一定変位振幅を与え た供試体では、荷重が大幅に低下するまでの水平変位-水平荷重履歴曲線の概形は一致している.これらの供試 体は未溶着高さ a がほぼ同様であり、溶接ビード脚長 s が S30-5-30-R-CC-NRG、S30-8-30-R-CC-NRG でそれぞれ 9.6mm, 13.1mm と大きく異なっている.2 つの供試体の 荷重 10%低下直前の荷重低下具合は大きく異なり、S30-5-30-R-CC-NRG では急速な荷重低下が起こっており、こ れは溶接ビード脚長の影響によるものと考えられる. 図-4 に全供試体のき裂進展比較図を示す.き裂発生の段階は S30-5-30-R-VC-NRG-1 では 4 Half Cycle, S30-8-30-R-VC-NRG-1 では 3 Half Cycle, S30-5-30-R-VC-NRG-2 では 3 Half Cycle, S30-5-30-R-CC-NRG では 5 Half Cycle, S30-8-30-R-CC-NRG では 5 Half Cycle, S30-8-30-R-CC-NRG では 2 Half Cycle であった.未溶着高さ aが大きいものとして, S30-8-30-R-VC-NRG-1, S30-8-30-R-VC-NRG-2, S30-8-30-R-CC-NRG があり, a が小さい供試体と比較してき裂の発生段階が早い結果となった. S30-5-30-R-VC-NRG-1 では



(a) S30-5-30-R-VC-NRG-2

(b) S30-8-30-R-VC-NRG-2



(c) S30-5-30-R-CC-NRG

(d) S30-8-30-R-CC-NRG

写真-3 荷重10%低下時(実験終了時)の破壊様式

き裂発生から一定のペースで進展し、比較的緩やかな進 展挙動を示した.一方、S30-8-30-R-VC-NRG-1 では、き 裂が発生してすぐに大きな進展を伴っており、き裂があ る程度進展するまでの進展挙動は非常に急激であるとい える.

水平荷重-水平変位履歴曲線の形状が近かった S30-5-30-R-VC-NRG-2 と S30-8-30-R-VC-NRG-2 では, き裂進展 においても S30-5-30-R-VC-NRG-1 と S30-8-30-R-VC-NRG-1 に比べ似た様相を呈している.

一方,一定変位振幅載荷を行った供試体では,き裂の 発生時期は異なるものの耐荷力低下につながる大幅なき 裂進展時期は 1 Half Cycle の差のみであった. この差は 溶接ビード脚長 s が S30-5-30-R-CC-NRG の 9.6mm に対し て S30-8-30-R-CC-NRG では 13.1mm 存在していたことよ り生じたと考えられる.

載荷パターンについて,最初から56,の変位を与える 一定変位振幅載荷では、16,から始まる漸増変位振幅載 荷に比べき裂の進展が急激であり、危険な破壊モードで あるといえる.また、一定変位振幅載荷では溶接ビード 脚長*s*の差による影響が僅かなものとなった.

(2) 破壊様式

写真-2(a), (b)にそれぞれ S30-5-30-R-VC-NRG-1 およ

び S30-8-30-R-VC-NRG-1, 写真-3 (a), (b), (c), (d) にそれ ぞれ S30-5-30-R-VC-NRG-2, S30-8-30-R-VC-NRG-2, S30-5-30-R-CC-NRG, S30-8-30-R-CC-NRG の荷重が 10%以上低 下した時点での破壊様式を示す. なお, このときの載荷 段階は S30-5-30-R-VC-NRG-1 では 17 Half Cycle, S30-8-30-R-VC-NRG-1 では 11 Half Cycle, S30-5-30-R-VC-NRG-2 で は 11 Half Cycle, S30-8-30-R-VC-NRG-2 で は 11 Half Cycle, S30-8-30-R-VC-NRG-2 で 30-5-30-R-CC-NRG では 7 Half Cycle, S30-8-30-R-CC-NRG

すべての供試体で溶接ビードに沿ったき裂進展が確認 でき、フランジ板端部に達したき裂はフィレット上に向 け進展している. 十字継手部の断面写真を見ると、き裂 は未溶着部から溶接ビード表面に進展していることが確 認できる.

では7HalfCycleであった.

S30-5-30-R-VC-NRG-1 でのみ角部 2 のフィレット上部 およびウェブ板でき裂が進展した.このことは後述する 溶接性状において,未溶着部が無く,十分な溶接ビート 脚長およびのど厚を有していたため十字継手部には進展 せずにウェブ板に進展したと考えられる.また,このよ うにウェブ板までき裂が進展するような破壊モードは**写** 真-4 のように荷重 10%低下後も載荷を進めたものにも 見られた.S30-5-30-R-CC-NRG ではさらに 6 Half Cycle 進 めた 17 Half Cycle で荷重 43%低下時にフィレット上部お



写真-4 S30-5-30-R-CC-NRGの荷重 43%低下時の破壊様式



(a) 載荷前(角部1)



(d) 11 Half Cycle 載荷後(角部 2)



(b) 4 Half Cycle 載荷中(角部1)



(e) 15 HalfCycle 載荷後(角部 2,4) 写真-5 S30-5-30-R-VC-NRG-1のき裂進展過程



(c) 5 Half Cycle 載荷後(角部2)



(f) 16 Half Cycle 載荷後(角部1)

よびウェブ板にき裂が発生した.

ウェブ板へのき裂進展時の変位は S30-5-30-R-CC-NRG が 5*δ*, であるのに対し, S30-5-30-R-VC-NRG-1 では 9*δ*, で あったため, ウェブ板へ急激にき裂が進展したと考えら れる.

(3) き裂進展過程

溶接ビート脚長が同等程度であり、未溶着高さの影響 が見て取れる、S30-5-30-R-VC-NRG-1とS30-8-30-R-VC-NRG-1の2つの供試体について、実験中のき裂進展過程 を述べる.

a) S30-5-30-R-VC-NRG-1のき裂進展

写真-5 に S30-5-30-R-VC-NRG-1 のき裂進展過程を示す.

き裂は4Half Cycle載荷中に角部1近傍に発生し,4 Half Cycle載荷後のき裂長さは*L*=3.4mmであった(**写真**-

5(b)). その後5 Half Cycleで角部2付近にもき裂が発生し、 このときの長さは L_e =2.3mmであった(写真-5(c)). 角 部2のき裂は11 Half Cycleの時点で L_e =51.2mm, 15 Half Cycle では L_e =105.0mmまで進展した(写真-5(d), (e)). 一方、 角部1のき裂は16 Half Cycleにおいても L_e =28.2mmまでしか 進展せず、その後の17 Half Cycleにて角部2から発生した き裂が写真-2(a)に示すように L_e =148.0mmとなり、ウェ ブ板まで進展、これに伴い載荷荷重が90%以下に低下し たため実験を終了した.

b) S30-8-30-R-VC-NRG-1のき裂進展

写真-6 に S30-8-30-R-VC-NRG-1 のき裂進展過程を示す.

き裂は3 Half Cycle載荷中に角部4付近に発生し、この時のき裂長さは L_e =44.5mmであった(写真-6(b)).このき裂は3 Half Cycleの載荷中に進展を続け、写真ではき裂の開口量が小さいため確認し辛いが、3 Half Cycle載荷



(a) 載荷前(角部 2,4)



(d) 4 Half Cycle 載荷中(角部3)



(b) 3 Half Cycle 載荷中(角部 2,4)



(e) 9 Half Cycle 載荷後(角部 2,4)

写真-6 S30-8-30-R-VC-NRG-1のき裂進展過程



(c) 3 Half Cycle 載荷後(角部 2,4)



(f) 10 Half Cycle 載荷後(角部 1,3)



図-5 供試体の切断方法

終了時点でき裂長さ L_e =118.0mmまで急激に進展した(写 真-6(c)). その後、4 Half Cycleで角部3に新たなき裂が 発生し、長さは L_e =75.8mmであった.角部4に発生したき 裂は9 Half Cycle時点で L_e =154.3mmとなり角部2近傍まで進 展、角部3に発生したき裂は10 Half Cycle時点で L_e =163.0mmとなり角部1近傍ま進展した(写真-6(d)、 (e)).その後の11 Half Cycleで角部2,4に進展していたき 裂が L_e =164.4mmまで進展し(写真-6(f))、この時点で 載荷荷重が90%以下となり実験を終了した.

(4) 溶接ビード脚長および溶け込み深さの影響

溶接部の性状を確認するために、実験終了後の供試体

を切断し溶接ビード脚長および溶け込み深さの計測をノ ギスを用いて行った.

S30-5-30-R-VC-NRG-1 と S30-8-30-R-VC-NRG-1 の供試体 について、切断図を図-5 に、計測結果を図-6 に示す. 図-5(d)は供試体の梁部分および柱部分を切断し、6 分 割したものを上から見た図である.

図-6 に示す青斜線部分が溶接ビード脚長と溶け込み 深さを合わせた総溶接脚長であり、青数字はその大きさ である. 裏当金の影響等により溶接ビード脚長が計測不 可能であった箇所は「-」と記した. なお、溶接ビード 脚長 *s* の設計値は全供試体で 5mm, 溶け込み深さの設 計値は未溶着高さ *a*=5, 8mm の供試体でそれぞれ 3.5,





2.0mm となっている.赤枠で囲まれた部分は溶接未溶着 部であり、赤数字で大きさを示す.また、×は最初のき 裂発生箇所を表し、桃色の線を引いた部分は荷重低下時 に最も大きくき裂が進展していた箇所である.四隅の丸 数字は角部番号である.

a) き裂発生箇所

どちらの供試体も共に、同一フランジ面において比較 して、未溶着高さが小さく、総溶接脚長が大きい場合で も、フランジの角部に近い位置でき裂が発生している.

しかし,角部に近い場所での溶接性状を比較すると, S30-5-30-R-VC-NRG-1 では角部①付近にき裂が発生した が、この箇所での総溶接脚長は供試体内側方向・外側方 向共に反対側の角部②に比べ大きく、未溶着高さは小さ かった.

一方, S30-8-30-R-VC-NRG-1 では角部④付近にき裂が 発生したが,この箇所は反対側の角部③と比較して供試 体外側方向の総溶接脚長と未溶着高さが大きく,内側方 向の総溶接脚長は小さい.また,総溶接脚長の合計値で はき裂が発生した角部④が角部③に比べ大きい.

このように、き裂発生箇所については、角部に近いと ころで発生するが、未溶着高さの大きさや溶け込み深さ、 溶接ビード脚長の大きさに起因する明確な傾向は他の供



図-9 S30-8-30-R-VC-NRG-1のひずみ履歴

試体でも確認されなかった.

b) き裂進展箇所

S30-5-30-R-VC-NRG-1では最大き裂は角部②にて進展 し、最初のき裂が発生した箇所に比べ総溶接脚長が小さ い箇所でき裂が進展した.一方、S30-8-30-R-VC-NRG-1 では、最初にき裂が発生した箇所(角部④)でき裂が進 展した.また、どちらの供試体においても最大のき裂が 進展した初載荷引張側の面で比較した際、供試体外側方 向の溶接ビード脚長が小さい角部、つまりS30-5-30-R-VC-NRG-1では角部②と④を比較して角部②から、S30-8-30-R-VC-NRG-1では角部②と④を比較して角部④からき 裂が進展した.

また, S30-5-30-R-VC-NRG-1での耐力90%低下時では角 部④では未溶着が無く溶接ビート脚長が板厚を超えるほ どにあったためき裂が進展せず,角部②におけるフィレ ット上部およびウェブ板にき裂が進展し耐力の低下が発 生したと考えられる.

このように、き裂進展に関しては他の供試体でも、供 試体外側方向の溶接ビード脚長が小さい角部でのき裂の 進展を確認した.

(5) ひずみ履歴

図-7 にひずみゲージの貼付位置とゲージ番号を示す. 柱フランジに貼り付けたひずみゲージについて,図中に 示すように,初載荷圧縮側では No.1~5,初載荷引張側 では No.6~10のゲージ番号を設けた.

図-8, 図-9 にそれぞれ S30-5-30-R-VC-NRG-1 および S30-8-30-R-VC-NRG-1 の各載荷段階でのひずみ履歴を示 す. 同図中の黒破線はそれぞれの柱フランジ面でのき裂 発生点である.

S30-5-30-R-VC-NRG-1 の初載荷圧縮側では,角部 1 で き裂が発生した 4 Half Cycle 以後, No.5 のひずみが小さ くなっている. これはき裂が No.5 の位置よりもフラン ジ中央寄りに進展し,応力が解放されたためであると考 えられる. その後,このき裂はほとんど進展しなかった ため, No.5 を除く 4本のゲージの値に目立った差はない.

一方,初載荷引張側では,11 Half Cycle の時点では No.8 が最大の値をとっているが,13 Half Cycle では No.9, 15 Half Cycle では No.10 の値が最大となり,進展するき裂 の先端付近にひずみが集中している.この際,初期にき 裂先端が通過した No.6 および No.7 のひずみが,後半で は解放されていることが確認できる.



図-11 S30-8-30-R-VC-NRG-1のひずみ分布

表-3 文献4)での供試体構造パラメータ一覧

(単位:mm)

供試体名	h	h_b	L	В	D	t	R	S	d	а	r _a
S30-5-30-R-VC-MD	670	166	860	175	176	12.12	30.0	9.0	4.6	2.9	3.7
S30-8-30-R-VC-MD	670	163	860	175	176	12.12	29.0	9.5	1.9	8.3	4.8

ウェブ板でのひずみの計測はき裂が発生した箇所での ひずみの集中は確認できたが、終局から大きく少ない載 荷段階までしか計測が行えなかった.

S30-8-30-R-VC-NRG-1 では、初載荷引張側・圧縮側両 面において、き裂発生点での発生箇所付近のゲージの値 が大きいものの、その後急激にき裂が進展したため、各 ひずみゲージの値は S30-5-30-R-VC-NRG-1 に比べ小さい.

(6) ひずみ分布

図-10, 図-11 にそれぞれの供試体の柱フランジ幅 方向におけるひずみ分布を示す.

S30-5-30-R-VC-NRG-1 の初載荷圧縮側では、き裂進展 に伴い No.5 のひずみが解放されたことを除き、ほぼ一 定の分布となっている. 初載荷引張側では、11 Half Cycle から急激に分布が変化し、角部④付近のゲージの値 が増大するにつれ、角部②付近のゲージの値が低下して いる.

S30-8-30-R-VC-NRG-1では各Half Cycleの差はあまりみられないが、フランジ中央付近に比べ、角部付近のひずみが若干大きな値を示している.

4. ルートギャップを有する場合との比較

0.5mmのルートギャップを設け、未溶着高さaの設計 値をa=5,8mmとし、その他のパラメータが本研究で用い た供試体と同等のもの⁵と比較を行う.ただし、本論文 ではδ₄-4.8mmであるのに対し、文献5)ではδ₅=4.5mmとな っていることに留意されたい.

供試体パラメータを表-3に、水平変位-水平荷重履 歴曲線を図-12に、き裂進展比較図を図-13に示す.

ルートギャップを有するS30-8-30-R-VC-MDでの未溶着



図-12 ルートギャップを有する場合の荷重-変位曲線



高さaおよび脚長sはそれぞれ, a=8.3mm, s=9.5mmであり, ルートギャップを有さない供試体で同等程度のものは S30-5-30-R-VC-NRG-2があり,未溶着高さaおよび脚長sは それぞれ, a=4.1mm, s=7.2mmである.これらについて比 較すると,水平変位-水平荷重履歴曲線は図-14に示す ように,降伏変位みおよび降伏荷重Hyが違うためそれぞ れ縦軸を水平荷重H,横軸を水平変位 δとしたものとし たが,概ね一致していることが分かる.き裂進展はルー トギャップを有さないS30-5-30-R-VC-NRG-2のほうが若 干緩やかだが,荷重10%低下時はともに11 Half Cycleであ り,降伏変位みの違いはあるが同等程度であると考える.

S30-5-30-R-VC-MDではルートギャップを有さない場合 と比較して高い耐震性能をもつ結果となった.これは, S30-5-30-R-VC-MDでは未溶着高さaが2.9mmと小さく溶接 ビート脚長sおよびのど厚raがそれぞれs=9.0, ra=3.7と十分 にあったためであると思われる.よって,ルートギャッ プが0.5mm程度である場合はルートギャップが無い場合 と比較して大きな違いがないということが言える.



図-13 ルートギャップを有する場合のき裂進展

5. 結論

本論文では、鋼製橋脚隅角部の十字継手を模擬し、十 字継手部にルートギャップが存在せず、設計値における 溶接未溶着高さ a およびフィレット半径 R をそれぞれ a=5, 8mm, R=30mm とし、板厚 =12mm, 溶接ビード脚 長 s=5mm とした実験供試体を用いた繰り返し載荷実験 を行い、供試体各部の溶接ビード脚長および溶け込み深 さの測定をし、ルートギャップが存在しない場合におけ る、溶接性状が与える延性き裂発生・進展への影響につ いての検討を行った.また、一定変位振幅繰り返し載荷 についても実験を行い、載荷直後から大きな変位が発生 する場合のき裂進展挙動について観察を行った.得られ た知見を以下に示す.

- 本論文で用いた実験供試体の未溶着高さaの範囲(実 測値で4.1mm~8.8mm)では、き裂は未溶着部に発生 し、溶接ビードに沿って進展した。
- 2) 未溶着高さが大きい供試体では、き裂発生点が早くなった.
- 3) 最初のき裂発生箇所については、角部付近で発生することは確認できたが、未溶着高さの大きさや溶け込み深さ、溶接ビード脚長の大きさに起因する明確な傾向は確認されなかった。
- 4) 同程度の溶接ビード脚長を有した2つの供試体を比較 すると、未溶着高さaの実測値が8.8mmの場合は、
 4.1mmの供試体に比べき裂の進展が速く、その際の 耐荷力低下が著しいものとなった。
- 5) 最大のき裂が進展した面で比較した際,供試体外側 方向の溶接ビード脚長が小さい角部付近にてき裂が 進展した.
- 6) き裂進展に伴いひずみ分布がき裂先端付近に集中す るが、き裂発生前のひずみ集中は確認されず、ひず み分布とき裂発生点の明確な関係性はみられなかった。

- 2) 全体的な傾向として、ルートギャップが存在する供 試体を用いた実験結果と似通っており、ルートギャ ップが存在しない場合においても、存在する場合と 同じ傾向があることが確認された。
- ルートギャップが0.5mm程度の場合、ルートギャップ が有る場合はルートギャップが無い場合と比較して 大きな違いがないことが確認された.
- 9) 載荷パターンについて、最初から50,の変位を与える 一定変位振幅載荷では、10,から始まる漸増変位振幅 載荷に比べき裂の進展が急激であり、危険な破壊モ ードを呈した.また、一定変位振幅載荷では溶接ビ ード脚長の差による影響が僅かなものとなった.

参考文献

- 岡下勝彦,大南亮一,道場康二,山本晃久,冨松実, 丹治康行,三木千壽:兵庫県南部地震による神戸港 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) 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・進展に関する 実験的研究,構造工学論文集, Vol.57A, pp.479-489, 2011.

- 3) 鈴木俊光,葛 漢彬,岩田勝成,速水 景:溶接ビード 仕上げ性状が鋼厚肉部材の延性き裂発生に及ぼす影響に 関する実験的研究,鋼構造論文集, Vol.18, No.71, pp.43-53, 2011.
- 4) 速水 景, 葛 漢彬, 羽田 新輝, 森 翔吾, 鈴木 俊光:小さなフィレットを有する鋼製橋脚隅角部の未溶着高さが延 性破壊に及ぼす影響, 土木学会論文集A1(構造・地震工 学) Vol.69, No.4, pp.I 429-I 439, 2013.
- 羽田 新輝, 葛 漢彬, 速水 景, 鈴木 俊光:溶接脚長およ び溶け込み深さが鋼製橋脚隅角部の延性き裂発生・進展 に及ぼす影響, 土木学会論文集A1(構造・地震工学) Vol.69, No.4, pp.I_989-I_1001, 2013.
- 6) 羽田新輝,葛漢彬:異なる未溶着高さを有する鋼製橋脚 隅角部の耐震性能に及ぼす十字継手部の溶接ビード脚長 とフィレット半径の影響に関する研究,土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.70, No.4, pp.I_175-I_186, 2014.

EFFECT OF WELDING DEFECTS ON DUCTILE CRACK INITIATION AND PROPAGATION OF THE CROSS JOINTS IN BEAM-COLUMN CONNECTIONS WITHOUT ROOT GAP

Hanbin GE, Hiromu KATO and Shinki HADA

This study is a part of work aimed at clarifying the effect of welding defects as well as welding depth and leg length on the initiation and growth of ductile crack in the steel beam-column connections. Cyclic loading experiments are conducted using specimens with weld defects inherent in the beam-column connection. Root gap existed in the welding defects of the beam-column connection in previous studies. But in this study, behavior of ductile crack initiation and propagation of such member without root gap is revealed. Even when the root gap is not existed, it is confirmed that there is the same tendency with root gap. It can be concluded that there was no significant difference with 0.5mm of root gap or without.