

ワンサイドボルトによる矩形鋼製断面柱の 角補強効果に関する実験的研究

松村政秀¹・北田俊行²・吉津宏夫³・木地谷充良⁴・村本和之⁴

¹正会員 博(工) 大阪市立大学講師 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

²正会員 工博 大阪市立大学教授 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

³正会員 国土交通省近畿地方整備局奈良国道事務所, 管理第二課長 (〒630-8115 奈良市大宮町3-5-11)

⁴正会員 財団法人 海洋架橋・橋梁調査会 近畿支部橋梁第3課 (〒540-0012 大阪市中央区谷町1-3-5)

1. はじめに

既設道路橋では、レベル2地震動に対する耐震性、および大型車交通量の増加による耐荷力が十分でないことが指摘されている。とりわけ、1970年前後に建設された道路橋には、断面寸法が小さく、かつ、断面角部に溶接寸法の不足したすみ肉溶接が採用されている矩形断面柱、すなわち、活荷重による作用応力に対して断面が不足し、かつ、地震時に板パネルが座屈変形した場合に角溶接部が破断する危険性が想定される矩形断面部材の使用が見られる。このような小型の矩形断面部材に対しては、断面積を増加して耐荷力を、角部の割れを防止して耐震性を向上できる補強方法の採用が最良であると考えられる。

これまで実施されてきた矩形断面の角補強は、断面の内側から行う方法が一般的であり、その設計法も提案されている¹⁾³⁾。しかしながら、断面が小さく、内側から補強部材の設置・施工が困難な場合の角部の補強方法は提案されていないのが現状である。

そこで、本研究では、角部の溶接が不足し、かつ、断面が小さく内側から補強部材を設置・施工できない鋼製の矩形断面部材を対象として、断面の外側から断面角部にL形材を、断面外側のみから締結可能なトルシア型高力ワンサイドボルト（以下、単にワンサイドボルトという）を用いて接合する角補強⁴⁾する場合の補強効果を、耐荷力実験により検討する。

断面角部を外側からL形材をワンサイドボルトを用いて設置し補強する補強効果および有効性については、これまでに検討された事例がない。また、縮小模型を用いる実験では、ワンサイドボルトを用いる施工性あるいは補強効果を検討することは困難である。そこで、本研究では、板パネルが座屈する場合に対する角補強効果を矩形断面の角部のみを実寸

法でモデル化した部分実験を実施している。

2. 実験の目的および実験供試体

角溶接サイズが不足すると考えられる矩形断面の角溶接部を部分的にモデル化した小型載荷実験を実施し、(i)終局状態における角溶接部の崩壊モードの把握、(ii)L形材を用いる角補強効果、(iii)L形材によるすみ肉溶接の割れ防止効果、(iv)ワンサイドボルトの破断可能性、および(iv)ワンサイドボルトの施工性、を検討する。

対象とする矩形断面は、ウェブプレートの板厚が25mm、フランジプレートの板厚が25mmであり、断面角部にサイズ7mmのすみ肉溶接が施された鋼製矩形断面とした。ただし、後述の実験方法による偏心載荷をさけるため、図-1の対象断面に対して、左右対称となるように実断面寸法を調整している。角部の補強に用いるL形材のサイズは200×200×20mmとし、JIS規格サイズの山形鋼を想定している。

ここで、L形材を角部に追加した補強後の矩形断面には、図-2に示すような座屈変形モードの発生が想定される。そこで、小型載荷実験に用いる実験供試体は、同図中の点線に囲まれる断面角部をモデル化し、圧縮力あるいは引張力を漸増して作用させる圧縮実験、および引張実験を実施した。

表-1には、小型載荷実験に用いる実験供試体の内訳を示す。各実験供試体の角部の詳細、およびワンサイドボルトの配置位置は、図-3および図-4に示すとおりである。

実験供試体の製作には、SM490A材を使用する。L形の補強材にも同等の鋼種が望ましいが、実験実施時にはSM490A材のL形材の入手が困難であったた

め、SM490A 材の鋼板を用いて溶接により組立てた L 形材を使用する。鋼種の異なる 2 種類の L 形材の機械的性質に有意な差異がないことを確認するために、図-5 に示すように溶接組立てた山形鋼と等辺山形鋼（ともに SM400 材）を用いた比較実験も実施する。

なお、供試体数の制約から、供試体 9 には圧縮力のみを作用させている。供試体 2 および 3 を用いて、等辺山形鋼とビルトアップした L 形材との違い、供試体 4, 5, 6, 7 ではボルト本数の違いや山形鋼の取付け方の違いによる角溶接部の補強効果の検討を実施する。また、供試体 8 を用いて断面角部の溶接が 7 mm のすみ肉溶接である場合と完全溶け込み溶接を施した場合との違いを検討する。さらに、供試体 5 および 9 では、圧縮力作用時に内側を補強する場合と外側を補強する角補強効果を比較検討する。

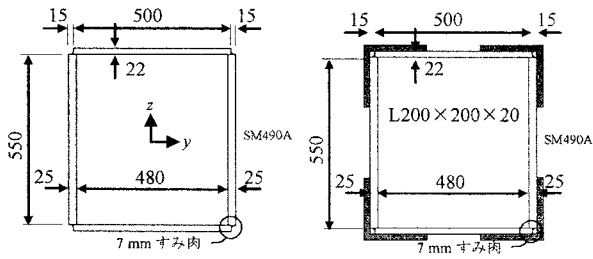


図-1 対象とする矩形断面（単位：mm）

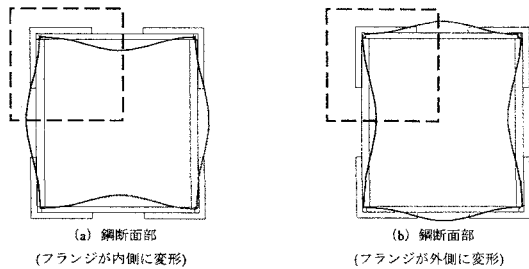


図-2 想定される補強後断面の座屈変形モード、およびモデル化の範囲

表-1 実験供試体の内訳

供試体の番号と特徴	使用鋼種	隅角部の溶接	ボルト配置	ボルトピッチ
1 補強前（現状）	SM490A		—	—
2 型鋼材性能試験用（等辺山形鋼）	SS400	7 mm すみ肉溶接	1 列配置	85 mm
3 山形鋼性能試験用（溶接組立て山形鋼）			千鳥配置	60 mm
4 ボルト補強 ***無し			1 列配置	85 mm
5 ボルト補強	SM490A	完全溶込み溶接	1 列配置	170 mm
6 ボルト補強			—	—
7 溶接補強			1 列配置	85 mm
8 ボルト補強		7 mm すみ肉溶接	1 列配置	85 mm
9 ボルト内側補強		7 mm すみ肉溶接	1 列配置	85 mm

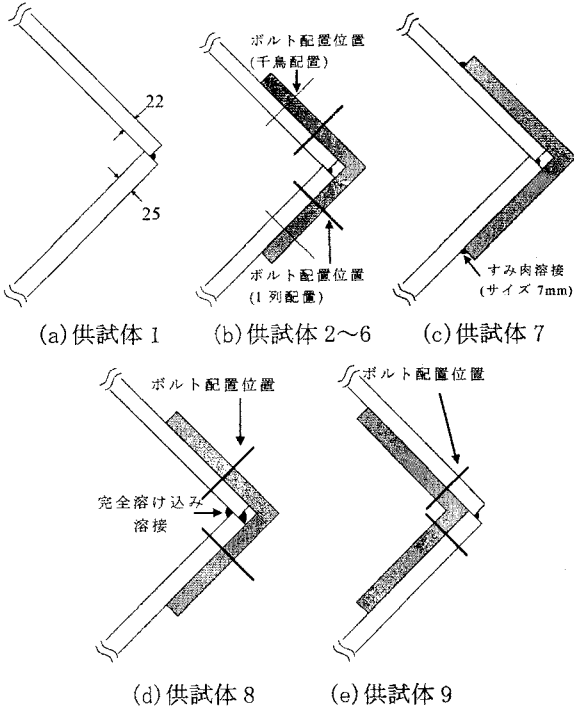


図-3 角部の詳細

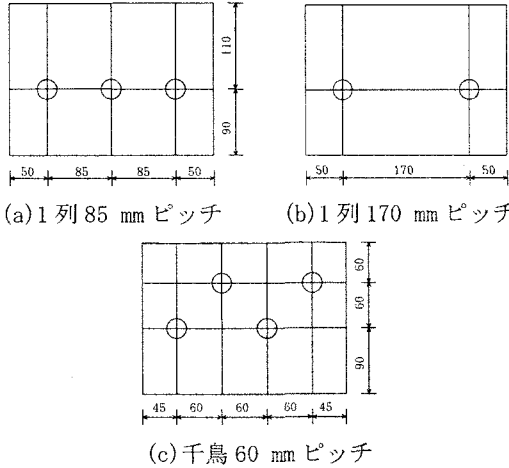


図-4 ボルトの配置（単位：mm）

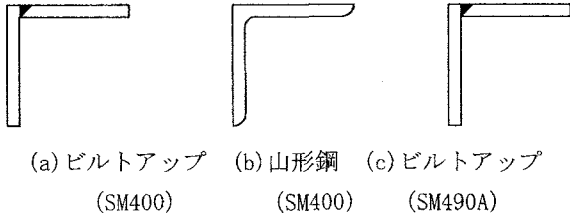


図-5 使用した L 形材（200×200×20 mm）

3. 使用材料

(1) トルシア形高力ワンサイドボルト

図-6 および写真-1 にはトルシア形高力ワンサイドボルトの構造を、図-7 には専用のレンチを用い

たワンサイドボルトの締結過程を示す。表-2 は、ワンサイドボルトの機械的性質（製品検査時の試験データ）を示す。ここで、降伏耐力は、ひずみ0.2 %のオフセット値として求めた値である。使用するワンサイドボルトの型番は、締結する板厚に応じてサイズの異なる2種類、すなわち、MUTF24-40あるいはMUTF24-45であり、呼び径は24 mm、第2スリーブの長さは40～45 mmである。これらは、強度的に、普通高力ボルトF8Tに相当する。同表より、トルシア形高力ワンサイドボルトはトルシア形高力ボルトと同様に、ボルトへの導入軸力にばらつきが少ないことが確認できる。

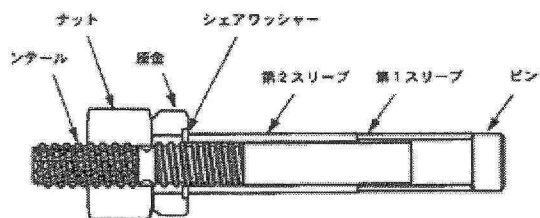


図-6 トルシア型高力ワンサイドボルトの構造

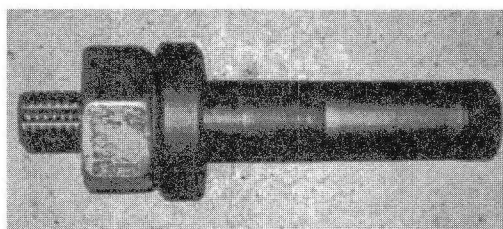


写真-1 トルシア型高力ワンサイドボルト

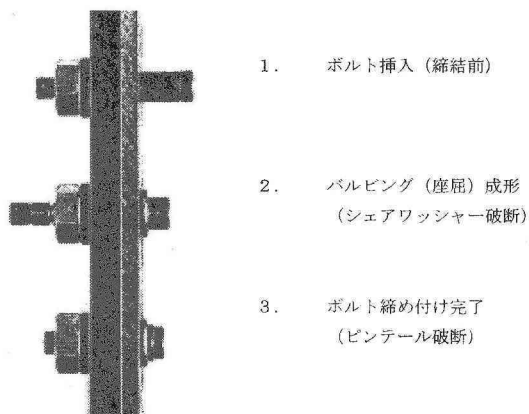


図-7 ワンサイドボルトの締結順序

表-2 ワンサイドボルトの機械的性質

機械的性質 ロット番号	降伏耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	絞り (%)	伸び (%)	初期軸力 (kN)
F030130	1112.0	1195.3	52.7	15.0	197.0
F030114	1112.0	1195.0	53.0	15.0	205.0
規格値	1006 以上	1118-1216	40 以上	14 以上	184-215

(2) 鋼材

実験供試体の製作には、SM490A 材を使用した。図-8 および表-3 には、実験に先立って実施したSM490A 材の引張試験結果を示す。同表に示すとおり、実験供試体の製作に使用した鋼材はすべて、SM490A 材の規格を満足するものであった。

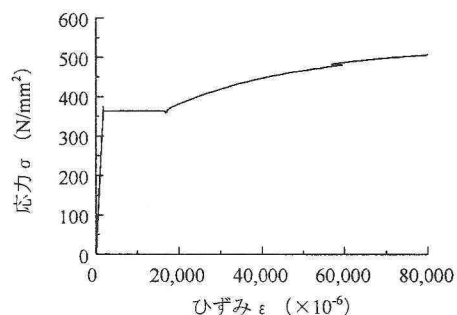
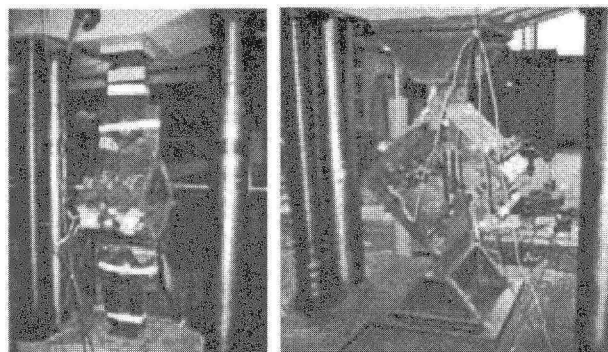


図-8 鋼材の応力ひずみ関係の一例（SM490A 材）

4. 小型载荷実験

断面角部をモデル化した実験供試体に、圧縮力あるいは引張力を一方向に作用させる圧縮実験および引張実験を実施した。写真-2 には、圧縮実験および引張実験の実施状況を示す。



(a) 引張実験 (b) 圧縮実験

写真-2 実験の実施状況

表-3 鋼材の材料試験結果

方向 鋼種	ロール方向				ロール直角方向			
	試験片寸法 (mm×mm)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)	試験片寸法 (mm×mm)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
SM490A	24.72×40.1	399	548	30	24.75×40.2	365	538	29
	19.96×40.1	397	550	26	-	-	-	-
	20.09×40.1	397	552	25	20.04×40.2	381	546	28
	規格値	315 以上	490-610	21 以上	規格値	315 以上	490-610	21 以上

(1) 計測項目および計測方法

軸方向の伸縮量，角部の水平変位，および L 形材の母材からの離間量を測定するため，図-9 に示すように変位計を取付ける．変位計のサイズなど計測項目の一覧を表-4 に示す．

表-4 計測項目一覧

計測項目	計測位置 (図-9)	計測器具
鉛直変位	①	50mm 変位計
水平変位	②, ③	25mm 変位計
角部 (角度)	④, ⑤, ⑥, ⑦	クリップ型変位計
母材と L 形材離間	⑧, ⑨, ⑩, ⑪, ⑫, ⑬, ⑭	10mm, 25mm 変位計

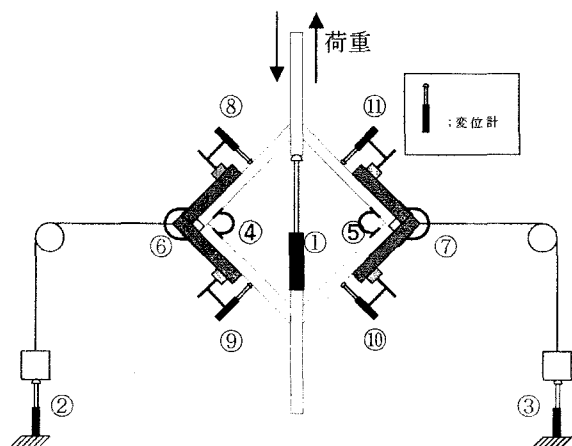


図-9 変位計取付け概略図

(2) 実験結果

図-10 には，荷重—載荷方向の変位①曲線を示す．

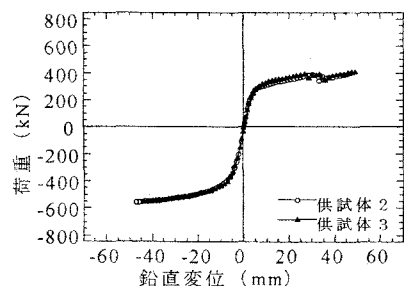
荷重は圧縮力をマイナス，引張力をプラスで表し，変位は載荷方向の伸縮量である．表-5 には，引張実験から得られたすみ肉溶接部破断時の荷重と載荷方向の変位をまとめている．

まず，図-10(a)，および表-5 より等辺山形鋼を用いた供試体 2 とビルトアップ山形鋼を用いた供試体 3 とを比較すると，圧縮実験および引張実験ともに，同様の値が得られた．これより，ビルトアップ L 形鋼と等辺山形鋼とで断面角部の拘束度に有意な違いはないことがわかる．

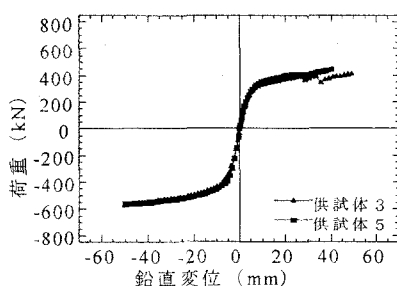
また，図-10(b)より SM490A 材を用いた供試体 5 と SM400 材を用いた供試体 3 もほぼ同様の挙動を示し，異なる鋼材を用いてビルトアップした L 形材を用いる場合にも角部の拘束の程度に顕著な差は見られないことがわかる．

つぎに，図-10(c)より，ボルトを千鳥配置にした供試体 4，1 列配置で 85 mm ピッチにした供試体 5，および 1 列配置で 170 mm ピッチにした供試体 6 とを比較すると，補強部材を取付けるためのボルト本数の違いが，圧縮実験および引張実験の結果に及ぼす影響は顕著に認められない．表-5 より，引張実験において，すみ肉溶接部破断時の荷重に着目すると，ボルトを千鳥配置にした供試体 4 が最も高い荷重を示している．

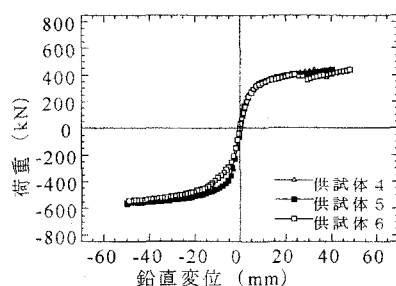
また，図-10(d)より L 形材の設置方法の違いが補強効果へ及ぼす影響に着目すると，L 形材を溶接により設置した供試体 7 が，引張実験における角部すみ肉溶接部破断時の荷重が最も高く，圧縮実験時は



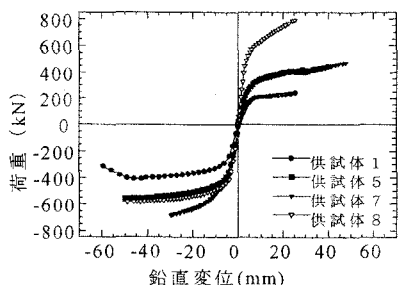
(a) L 形材の製作法の違いによる比較



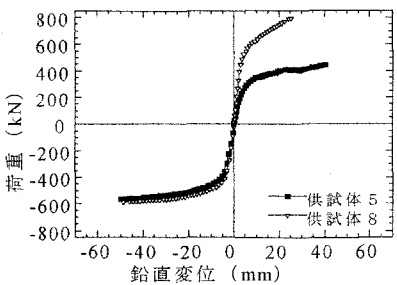
(b) 鋼種による比較



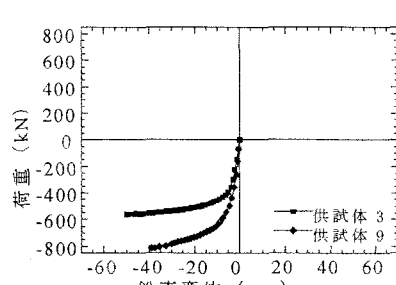
(c) ボルト本数による比較



(d) 山形鋼の取付け方法による比較



(e) 隅角部の溶接方法による比較



(f) 内側補強と外側補強との比較

図-10 荷重—変位①曲線

供試体 8 が最も高い耐荷力を示した。これは、圧縮実験時、L 形材をボルトで接合する場合には、ボルト設置位置よりも外側において L 形材と板パネル（母材）との間に離間が発生するが、L 形材を溶接接合する場合には、この離間が発生しないためである。

また、図-10(e)より角部の溶接がサイズ 7 mm の供試体 5 と隅角部の溶接が完全溶け込み溶接の供試体 8 の違いを比較すると、圧縮実験時では顕著な差違が認められないが、引張実験時では大きな差違が見られた。角部の内側に引張応力が集中する場合に、角部の溶接状態が耐荷力に及ぼす影響が大きいことを示している。

図-10(f)より外側補強の供試体 5 と内側補強の供試体 9 の違いは、圧縮実験の载荷結果のみではあるが、内側補強の方が優れているのがわかる。

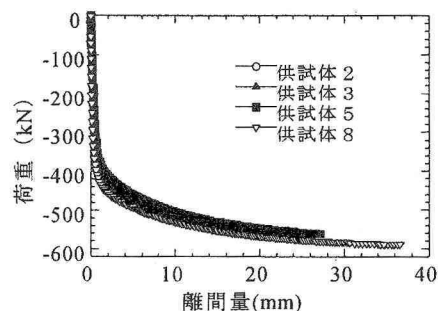
図-11 には、荷重と離間量（L 形材と供試体間の離間量）との関係を示す。表-6 には、圧縮実験時に L 形材と母材との離間量が 0.5 mm に達した時の荷重と鉛直変位をまとめている。表-6 より、L 形材を用いた供試体 2 とビルトアップした L 形材を用いた供試体 3 による違いは見られない。SM400 材を用いた供試体 3 と SM490A を用いた供試体 5 による鋼材の違いは、SM490A を用いた供試体 5 が若干、早期に離間が生じていることがわかる。また、隅角部がサイズ 7 mm のすみ肉溶接の供試体 5 と完全溶け込み溶接の供試体 8 とを比較すると、隅角部の溶接状況が、離間の発生に大きく影響することも確認できる。

実験終了後の損傷状況を写真-3 に示す。

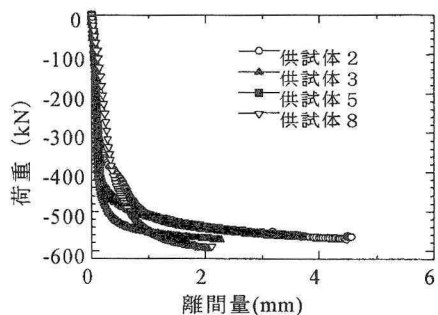
写真-3(a)に示すように、圧縮実験では L 形材と母材との間に離間が発生する。また、写真-3(b)および(c)に示すように、引張実験では補強前断面と同様に、鋼板が断面外側へ変形する場合に溶接部の割れが発生することを確認した。ただし、いずれの载荷ケースにおいても、ワンサイドボルトに破断などの損傷は観察されなかった。これは、普通高力ボルトとネジ部の構造が異なるためである。

表-5 すみ肉溶接破断時の荷重と変位（引張実験）

破断時 供試体名	荷重(kN)	鉛直変位 (mm)
1	243.8	26.7
2	392.6	31.4
3	392.4	34.7
4	436.0	32.8
5	406.0	25.0
6	405.0	24.3
7	474.0	48.4



(a) 板厚 22 mm 側

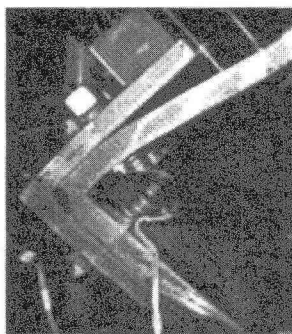


(b) 板厚 25 mm 側

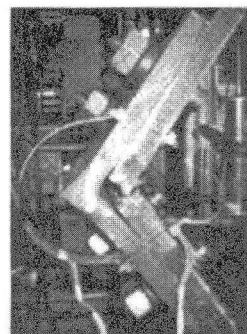
図-11 荷重—離間量曲線

表-6 離間量 0.5mm の時の荷重および鉛直変位

供試体名	荷重(kN)	鉛直変位 (mm)
2	365.0	5.9
3	343.7	5.2
5	296.6	3.2
8	404.5	12.2



(a) 圧縮実験



(b) 引張実験



(c) 角部の拡大図

写真-3 実験終了時の変形状況（供試体 5）

5. まとめ

すみ肉溶接の不足すると考えられる矩形鋼製矩形断面部材を対象として、断面外側から L 形材をトルシア形ワンサイドボルトを用いてボルト接合する角補強効果を、断面の角部のみを部分的にモデル化した小型載荷実験により検討した。

本研究によって得られた主な結論を以下に示す。

- 1) 断面角部のすみ肉溶接の寸法が不足する鋼製矩形断面で、鋼板が断面外側へ変形する場合には溶接部の割れ発生が確認された。
- 2) 断面角部を L 形材により補強すると、圧縮実験では L 形材と母材との間に離間が生じ、引張実験では補強前断面と同様に、鋼板が断面外側へ変形する場合に溶接部の割れが発生するが、破断時の荷重は約 1.6 倍、変位は 1.15 倍へ改善できる。また、L 形材を取付けるためのボルト本数の違いが断面角部の形状保持効果に及ぼす影響は小さい。
- 4) 断面内側に板パネルが変形する場合には、断面外側よりも断面内側に L 形材を設置する方法が有効である。
- 5) L 形材を溶接接合する場合では、L 形材と母材との溶接割れは確認されなかった。したがって、L 形材を溶接接合する方法も、作業性、溶接性、および疲労耐久性を考慮した上で採用することが可能であると考えられる。
- 6) 圧縮実験において、供試体と山形鋼との間に離間が発生し、ボルト軸が観察できる状態まで載荷したが、ワンサイドボルトには破断などの損傷は見られなかった。これは、普通高力ボルトとネジ部の構造が異なるためである。
- 7) 実験準備中に 2 つのワンサイドボルトについて締結ミスが認められたが、施工不良の確認は容易であった。

6. 謝辞：本研究を実施するにあたり、『米谷橋補強技術検討会』の松井繁之委員長、国土交通省近畿地方整備局・奈良国道事務所の有野充郎所長（当時）、同じく川西誠一副所長、（財）道路保全技術センターの山下和彦氏、および早川 充氏（当時）には、多大な配慮をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ．鋼橋編，2002 年 3 月。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅴ．耐震設計

編，2002 年 3 月。

- 3) 建設省土木研究所・首都高速道路公団・阪神高速道路公団・名古屋高速道路公社・鋼材倶楽部・日本橋梁建設協会：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書（総括編），共同研究報告書第 219 号，1999 年 3 月。
- 4) 国土交通省近畿地方整備局・奈良国道事務所・米谷橋補強技術検討会，2003 年 5 月。