

〈一般研究課題〉 山形鋼高力ボルト接合部のせん断中心を
考慮した耐震補強

助成研究者 愛知工業大学 薩川 恵一



山形鋼高力ボルト接合部のせん断中心を 考慮した耐震補強

薩川 恵一
(愛知工業大学)

SEISMIC RETROFIT FOR BOLTED ANGLE CONNECTIONS USING ADDITIONAL MEMBER ON THE PLATE

Keiichi Satsukawa
(Aichi Institute of Technology)

Abstract :

Seismic retrofit has been achieved for the buildings constructed before 1981, and its effects on the improvement to avoid collapse due to an earthquake are reported in the past investigation. Public office, school buildings and gymnasium were retrofitted as priority to secure disaster prevention base in the city. However, it is pointed out that the damaged commercial facility and factory lead to the terrible economic loss in the 2011 Tohoku great earthquake. Although seismic retrofit is needed for factories with lack of seismic performance, the continuous operation causes many temporal and spatial restriction. Especially, retrofit with welding makes the construction impractical because it should pay attention to prevention of fire. Fundamental experimental study on a non-fire strengthening method for bolted angle brace connections were addressed in this paper. In other words, monotonic loading tests were carried out to investigate the effects of the proposed retrofit method. The proposed method in this paper is that the additional member is attached to the existing angle brace by new high strength bolts, the joint bolts. First of all, the ultimate strength for the two expected failure modes was established to select the test parameters. The expected failure mode I is fracture occurred not only at the existing bolt hole but also at the joint hole, and including the diagonal failure line from the existing bolt hole to the joint bolt hole. The failure mode II is fracture occurred at the joint bolt hole only because the joint bolt is located

far enough from the existing bolt hole. It indicates that the position of the joint bolt from the existing bolt is an important parameter to determine the failure mode of the retrofit method.

1. はじめに

2, 3階建の低層かつ大空間である倉庫、工場及び作業場は、構造種別で鉄骨造建物であることが多く、また公共建築物である屋内運動場、小・中学校の体育館は、防災拠点としての継続使用性の確保の課題は残るが、耐震性の不足する既存不適格建物への耐震補強は進んでおり、近年の地震被害調査でもその効果が報告されている。また工場や倉庫でも事業継続計画の観点から耐震補強の機運が高まっている。しかしながら、工場では継続した生産稼働が望まれ、耐震補強孝治に伴う設備機器や製品等への影響を回避する必要がある、溶接接合による耐震補強では、大掛かりな火気養生が必要である。一方、火気の使用することなく、耐震補強が実施できる高力ボルト接合による耐震補強の研究が活発に進められている。

本研究では、山形鋼高力ボルト接合部の平板側に平板を高力ボルト接合により付加する乾式補強方法を考え、その補強効果を検証する。

2. 事前検討のための載荷実験

本研究では、補強接合部に使用する高力ボルト本数をなるべく少なくするために、事前に検証する実験を行った。事前の検証とは、継手長さに着目して、載荷実験を通して、引張最大耐力と有効断面積を継手長さで整理することにある。載荷実験では、山形鋼3種の断面を対象にボルト本数、ピッチをパラメータとして引張降伏耐力及び引張最大耐力を検証する。

2.1 試験体

表1に試験体一覧を示す。表の下には試験体表記名を示す。表の右側には、載荷実験と数値解析から得られた引張降伏耐力と引張最大耐力を示している。載荷実験では、計16体の試験体を用意した。試験体パラメータは山形鋼断面、ボルト本数、ピッチとした。ガセットプレートは長方形型とし、板厚はすべての試験体ともに9mmとした。山形鋼断面はL65×6、L75×6、L90×7の3種類とした。ボルト本数は、ガセットプレートと山形鋼を接合するボルトが3本、5本の試験体を対象とした。また、ピッチは高力ボルトの呼び径に応じた標準値[1](以下、標準ピッチ)を基準とし、最小値[1](以下、最小ピッチ)、標準ピッチの2倍の3種とした。接合に用いる高力ボルトの呼び径は、L65×6とL75×6ではM16(F10T)、L90×7ではM20(F10T)とした。ボルト孔の位置は、山形鋼幅の中心位置として、はしあき距離はM16では40mm、M20では50mmとした。高力ボルトの締め付けは、トルクレンチで100N・mの一次締めを行い、山形鋼、ワッシャー、ナットおよびボルトにマーキングしてナットを120度回転させて締め付けるナット回転法により行った。山形鋼とガセットプレートの摩擦接合面は黒皮のままとした。

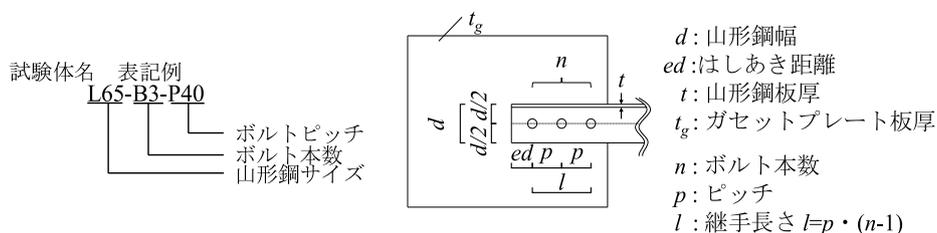
2.2 実験方法と載荷計画

試験体は、上下のガセットプレートをそれぞれリブ付きL字型治具に挟み込んで載荷装置へ固定している。載荷は試験体上部に強制変形を与え、引張最大耐力を発揮してからき裂の進展などに伴って耐力の低下が確認できるまで行った。荷重は試験機に設置したロードセルより軸方向力Pを取得する。

表1 試験体一覧

試験体名	山形鋼断面 $d \times t$	GPL板厚 t_g [mm]	GPL鋼材	ボルト本数 n [本]	ボルトサイズ	はしあき ed [mm]	ピッチ p [mm]	継手長さ l [mm]	eP_u (kN) 実験	eP_y (kN) 実験	aP_u (kN) 解析	aP_y (kN) 解析								
L65-B3-p40	65 x 6	9	SS400	3	M16	40	40	80	216	147	※193	※142								
L65-B3-p60							60	120	237		※232									
L65-B5-p40				5			40	160	250		※251									
L65-B5-p60							60	240	265		※262									
L75-B3-p40	75 x 6			9			SS400	3	M16	40	40	80	235	172	284	172				
L75-B3-p60											60	120	265		309					
L75-B3-p120								5			120	240	310		325					
L75-B5-p40											40	160	287		280					
L75-B5-p60								60			240	308	309							
L75-B5-p120								120			480	321	322							
L90-B3-p50	90 x 7							9			SM490	3	M20	50	50	100	339	281	※301	※240
L90-B3-p70															70	140	374		※339	
L90-B3-p140		5	140		280	435						※418								
L90-B5-p50			50		200	416						※362								
L90-B5-p70		70	280		441	※404														
L90-B5-p140		140	560		456	※448														

※ 数値解析では、L75x6の鋼材を使用している



2.3 実験結果

表1に載荷実験から得られた各試験体の引張降伏耐力を示す。ボルト3本について、ピッチの長さが引張最大耐力に与える影響について確認する。最小ピッチの引張最大耐力は、標準ピッチの引張最大耐力に比べて低くなっている。3種の山形鋼断面を比較すると、最小ピッチの引張最大耐力は標準ピッチの引張最大耐力から約10%低下している。標準ピッチの2倍の引張最大耐力は、標準ピッチの引張最大耐力から約16.5%上昇している。のボルト5本について、最小ピッチの引張最大耐力は、標準ピッチの引張最大耐力より6%低下し、標準ピッチの2倍の引張最大耐力は、標準ピッチの引張最大耐力から4%上昇している。以上のことから、引張最大耐力はボルト本数だけではなく、ピッチが長くなるにつれて大きく上昇するが、ボルト本数が多い場合は、引張最大耐力の上昇度合いは小さくなる傾向が見られた。

図1に図12の横軸であるピッチを継手長さに変更して有効断面率を整理して示す。図中の赤線は文献[1]で提案されている以下の式により得られた有効断面積(A_e)を有効断面率(A_e/A_n)に変換して示している。

$$A_e = A_n \cdot \left(1.04 - \frac{2.0}{l} \cdot 15 - 0.006e_x - 0.10e_y \right)$$

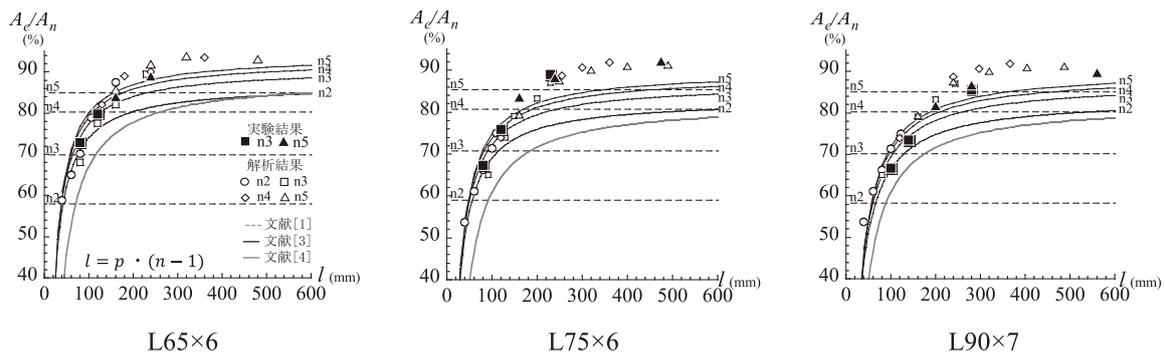


図1 継手長さで整理した有効断面率

各山形鋼断面について、有効断面率と継手長さとの関係に対数関数のような曲線に近似が可能であることがわかる。ボルト本数、ピッチによらず有効断面率は継手長さで整理することにより統一的な評価が可能であると考えられる。

3. 実験計画

図2に本補強法の概要を示す。本補強法は既存材の既存ボルト前方とガセットプレートに補強材を取り付け、連結ボルトで接続する。また、補強材と既存ボルトが干渉しないようにスペーサーを介して補強材を取り付け2面せん断の摩擦接合とする。本補強法は山形鋼に作用する引張軸力を既存材の接合部のみで負担せず、補強材にも軸力を伝達することにより、既存接合部の応力負担の減少を図る。

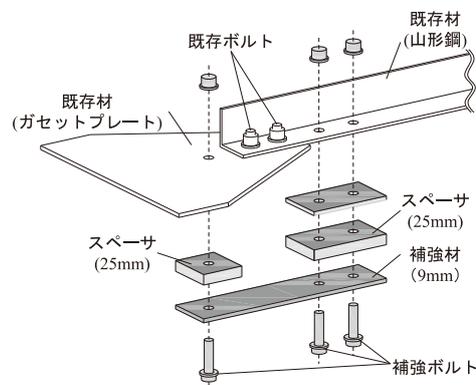


図2 試験体組立図

表2に試験体一覧を示し、図3に試験体全体を示す。実験変数は、山形鋼のサイズと連結ボルト本数及びボルト径である。L75×6の山形鋼に対して、補強を施された試験体は、既存材のボルト本数2本を対象として、連結ボルトが2本となるように接合部を構成した。使用したボルトは全てF10Tとした。なお上下接合部同士の間隔は300mmとする。

表 2 試験体一覧

試験体名	ガセットプレート	既存の接合部構成				連結の接合部構成			
	板厚 t	p	d	既存材	既存ボルト	補強材形状	連結ボルト	p'	d'
L75-p60-l240	9	60	37.5	L75×6	2-M16	平板(9mm)	2-M16	110	37.5
L75-p40-l240		40						90	37.5
L75_b2_p60		60							
L75_b4_p80		80							

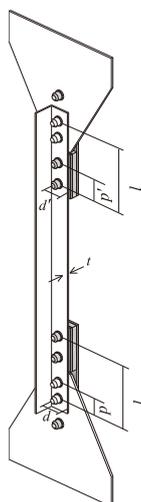


図 3 試験体全体

4. 実験結果

図4、5に実験結果を示す。図4は標準ボルトピッチ2本に対して本補強方法を適用した実験結果であり、図中点線は無補強の試験体、グレーの直線は補強を施した試験体である。補強を施すことにより、大きく耐力上昇をすることとなり、補強の効果が見られる結果となった。その補強効果の度合いを検証する。図5は、継手長さが240mmと一定した試験体の実験結果を示しており、点線が無補強試験体でボルトピッチ80mmの試験体、黒の直線は既存ボルトピッチ40mm、グレーの直線は、既存ボルトピッチ60mmの試験体をそれぞれ示している。既存ボルトピッチ60mmの試験体の最大耐力は、無補強試験体の荷重とほぼ一緒であるが、既存ボルトピッチ40mmの試験体は、無補強試験体の最大荷重と比較して低くなった。

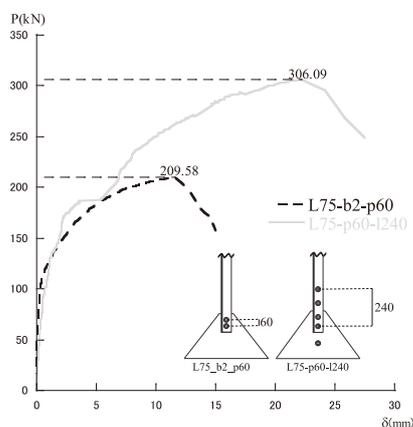


図 4 荷重変位関係

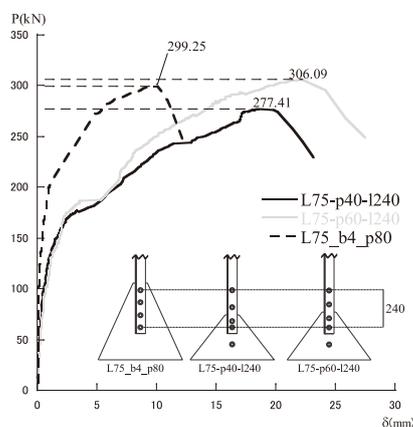


図 5 荷重変位関係($l=240$)

5. まとめ

本研究では背面補強タイプを対象とした載荷実験を通して、本補強方法の有効性の検証を行った。補強を施した試験体の耐力は大きく上昇し補強効果が得られることがわかった。また本補強法を施した試験体は保有耐力接合を満たす結果となった。

参考文献

1. 藤本盛久, 難波恒夫, 中込忠男, 西山隆志, 下川弘海, 久保田一男:鋼構造筋かい接合部の耐震安全性に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, No.445, 1993.3