

G1-5. 長尺異形鉄筋ジベルを用いた超軽量コンクリート合成はりの力学特性に関する実験的研究

田北 亮平

1. 目的

鋼・コンクリート合成構造は、鋼とコンクリートという異種材料を組み合わせることにより、単一材料では得られない優れた力学特性を生み出せるというメリットが得られる反面、単一材料の鋼構造に比べ高重量になってしまうというデメリットもある。そこで本研究では、合成構造の軽量化の一手法として超軽量コンクリートに着目し、それをを用いた合成構造の開発を目的とする。さらに、近年の土木構造において重要視されている施工の簡略化、建設材料の節約という点も考慮し、従来、コンクリートのせん断補強筋として使用されている異形鉄筋にずれ止め効果も期待した長尺異形鉄筋ジベルの適用も同時に行った。

本研究では、以上の鋼・コンクリート合成はりの載荷試験および2次元FEM非線形解析を行い、この種の合成構造の基本的な力学特性の把握を行った。

2. 内容

2.1 異形鉄筋ジベルを用いた鋼・超軽量コンクリート合成はりの載荷試験

本節では、ずれ止め、せん断補強筋としての効果を期待した長尺異形鉄筋ジベルと超軽量コンクリートを用いた合成はりの載荷試験を行い、曲げを部材の力学特性を荷重-たわみ関係、コンクリートと鋼板のずれ、異型鉄筋ジベルのひずみ、破壊状況等から検討する。供試体は図-1に示すように、板厚6mmの鋼板(SS400)とコンクリートを高さ200mmの長尺ずれ止めで一体化した長さ1800mm、幅200mm、高さ256mmの単純合成はりである。また、高さ200mmの位置に2本の軸方向鉄筋を配置している。パラメータには長尺異形鉄筋ジベル(SD345)の径をとり、16mm、13mm、10mmの3種類を用いた。長尺ずれ止めの配置間隔は有効高さ250mmの1/2以下ということを考慮し、各供試体とも100mmとした。超軽量コンクリートには膨張頁岩を原料とした人工軽量骨材を粗骨材および細骨材に使用し、比重が1.4、スランプが $12 \pm 2\text{cm}$ 、空気量が5.0%、14日水中養生時の圧縮強度が約 40N/mm^2 となるように設計した。載荷方法は支点中央から150mm 支点側での2点線載荷とした。

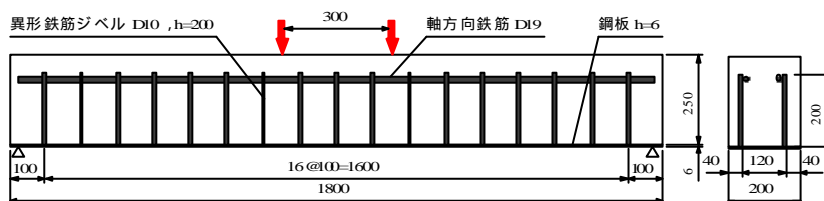


図-1 供試体の概略図

試験結果として、各供試体の荷重-たわみ曲線を図-2に示す。

図より鉄筋径16mm、13mmの

供試体は最大荷重に達した後も急激に荷重が低下することなくたわみが増え続けており、靱性に富んだ曲げ破壊を起こしていることが確認された。一方鉄筋径10mmの供試体については120kN付近までは、16mm、13mmと同様の挙動を示していたが、荷重190kN付近で荷重が急激に荷重が低下した後、最大荷重220kNに達するとほぼ同時にせん断破壊に至った。以上より、後述する表-1の終局耐力の比較からも明らかなように、径10mmの異形鉄筋ジベルの場合には、既往の設計せん断耐

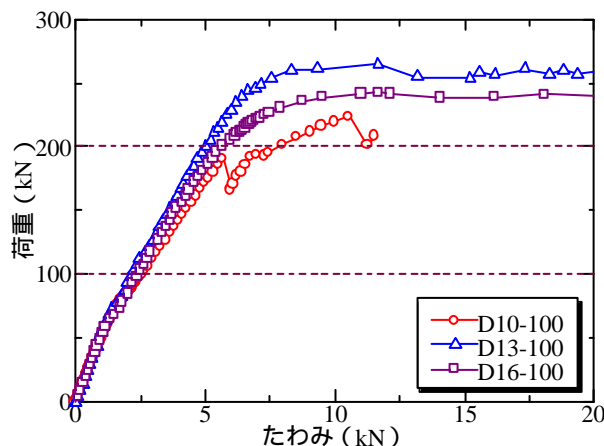


図-2 荷重-たわみ曲線

力よりも過小なせん断耐力しか発揮しえないことがわかった。次に、鋼板とコンクリートのずれ性状について図-3 に示す。いずれも供試体支点付近のずれである。グラフより、鉄筋径 10mm の供試体は、鉄筋径 13, 16mm の供試体とは異なり大きなずれが発生したことが確認された。また、荷重たわみ曲線と見比べた所、大きなずれが発生した 190kN 付近で荷重が一度低下した点が一致しており、荷重の低下がずれによるものであることが確認できた。

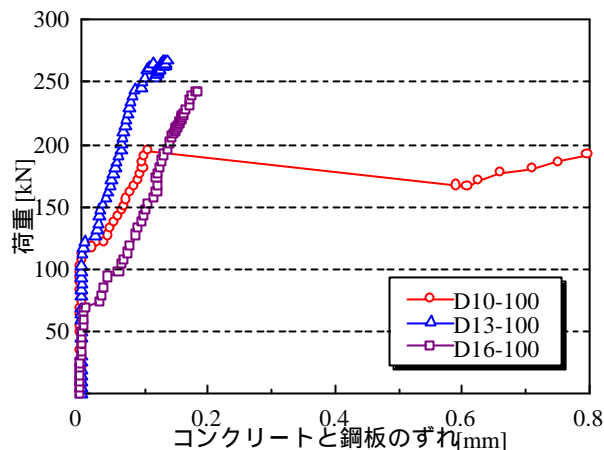


図-3 荷重-ずれ曲線

表-1 に各供試体の終局耐力及び計算値の曲げ耐力、せん断耐力、破壊形式を示している。曲げ耐力の算定には、等価応力ブロック法を用いた RC はり理論に基づき算出した。また、せん断耐力の計算値はコンクリートの分担分とせん断補強筋の分担分の和と考え、コンクリートの分担分に関しては、コンクリート標準示方書に規定されている式を用い、さらに、超軽量コンクリートの材料特性を反映できる以下のような脆度係数を用いた低減係数を乗じることで算出した。

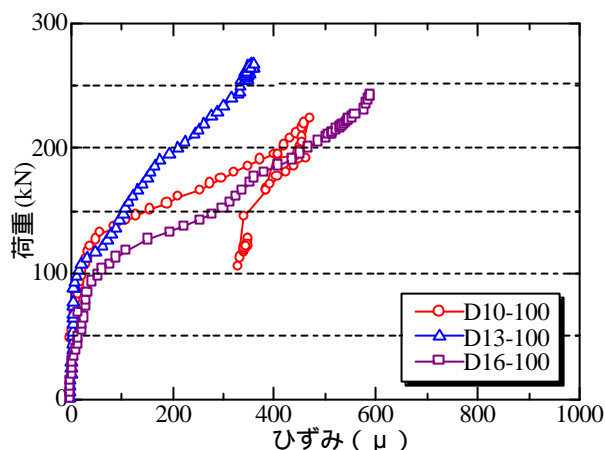


図-4 スタッドのひずみ性状

$$= 0.84 + 0.32,$$

$$= / N$$

ここで、 β は脆度係数の逆数、 N は普通コンクリートの脆度係数の逆数である。せん断補強筋の分担分はせん断補強筋の降伏によって

type	配置間隔 (mm)	鉄筋量 (mm ³)	試験値 (kN)	計算値		試験値/計算値	破壊形式
				曲げ (kN)	せん断 (kN)		
D10-100	100	4.85E+05	219	260	351	0.62	せん断
D13-100	100	8.62E+05	267	254	543	1.05	曲げ
D16-100	100	1.35E+06	242	203	770	1.19	曲げ

表-1 終局耐力

終局に至るというトラス理論を用いて算出した。表より、曲げ破壊を起こした供試体では、試験値と計算値がおおよそ一致しているのが確認できる。一方、せん断破壊した供試体では、試験値と計算値の間に大きな差が生じた。この原因に関しては、図-4 に示す支間中央部から 400mm 支点側、高さ 125mm の位置で測定したずれ止めのひずみ性状を用いて説明する。図より、鉄筋径 10mm の供試体では、せん断破壊を起こしたにも関わらず、せん断補強筋が降伏していないのが確認された。このため、せん断補強筋が降伏すると仮定するトラス理論では過大評価しすぎてしまい、これが計算値と実験値の間に大きな差が生じた原因であると考えられる。これより、本形状の異形鉄筋ジベルではせん断補強筋として十分な機能を発揮しえていないということがわかった。

2.2 せん断破壊をおこした合成はりの破壊メカニズム

鉄筋径 10mm を用いた合成はりはずれ止めが降伏する前にせん断破壊を起こした。そこで本節では、せん断破壊を起こした供試体の破壊メカニズムを解明するため、2次元非線形 FEM 解析を行った。解析モデルは図-5 に示すように、供試体の対称性を考慮した 1/2 モデルとした。使用要素はコンクリート、鋼板、異形鉄筋ジベルには 8 節点平面応力要素、圧縮鉄筋には 2 節点棒要素を用い

た．コンクリート，鋼板，鉄筋の材料特性は材料試験結果に基づき設定し，コンクリートの引張軟化係数については，超軽量コンクリートの材料特性を考慮し，ヤング係数の 1/10 に脆度係数比を乗じたものをを用いた．また，鋼板とコンクリートおよび異形鉄筋ジベルとコンクリートの接合面には，相対的なずれを考慮するためバネ要素を挿入した．バネ要素には異形鉄筋ジベルと鋼板（バネ要素），コンクリートと鋼板（バネ要素），異形鉄筋ジベルとコンクリート（バネ要素）の 3 種類を用いた．その中で，バネ要素の水平バネ特性は押し抜き試験から得られた荷重-ずれの関係から，バネ要素の水平バネ特性は異形鉄筋の付着応力-すべりの関係を表す以下の式を用いて算出した．

$$\tau = 0.9 f'_c{}^{2/3} (1 + e^{-240s^{0.6}})$$

ここで， τ ：付着応力 (N/mm²)， f'_c ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)， $s=S/D$ であり S はすべり量， D は鉄筋径 (mm) である．

解析結果として図-6 に荷重-たわみ曲線を示す．同図中には，異形鉄筋とコンクリートを剛結とした解析値 およびすべての接合面を剛結とした解析値 も示している．図から，異形鉄筋ジベルの付着を考慮した解析結果が実験結果の最大荷重および終局に至る曲げ剛性をおおよそ再現しているのが確認される．これは，荷重増加につれ異形鉄筋ジベルに曲げ引抜き作用が生じるが，この影響で合成はり終局に至ったためと考えられる．実際に実験供試体においても図-8に示すようにせん断破壊した供試体ではずれ止め頭部に水平方向のひび割れが確認される．以上より，合成はり終局に至った原因は，異形鉄筋ジベルの曲げ引抜き作用により周辺コンクリートが割裂破壊を起こしたためと予測される．よって，異形鉄筋ジベルをせん断補強筋併用で用いる場合には，異形鉄筋の頭部における定着が重要であることがわかった．また，図-7に荷重-ずれ曲線を示す．図から，解析モデルは 100kN 付近から顕著なずれの増加が見られ，220kN 付近で破壊に至っていることが確認された．本解析結果は，定性的なずれ性状をおさえているものの，局所的な定量評価につ

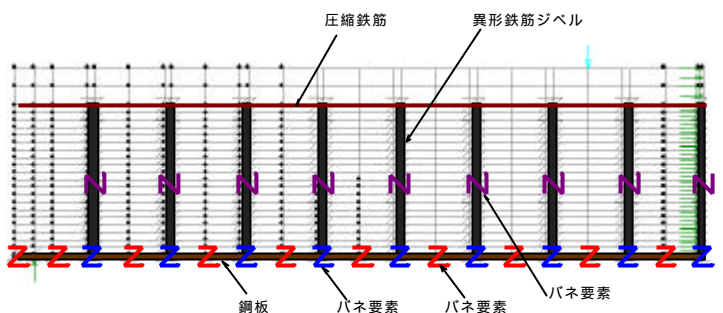


図-5 解析モデル

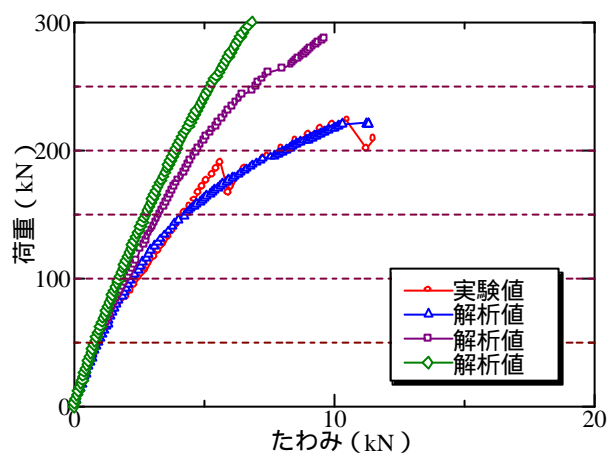


図-6 荷重-たわみ曲線

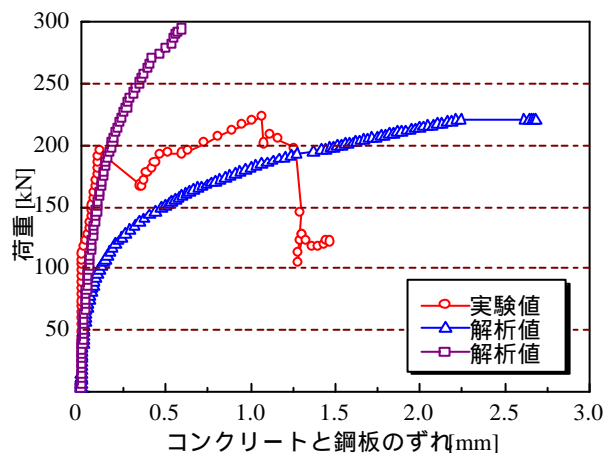


図-7 荷重-ずれ曲線

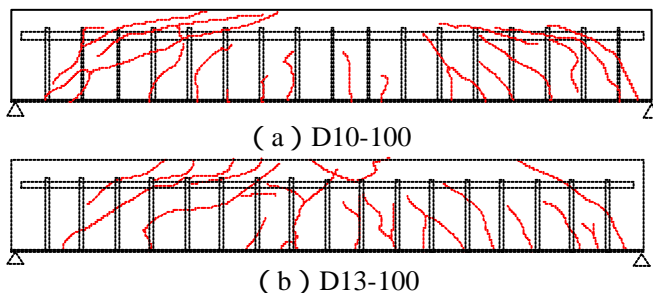


図-8 ひび割れ性状

いてはさらに検討する必要がある。

2.3 形状を変化させた異形鉄筋ジベルの載荷試験

前節で、長尺異形鉄筋ジベルと超軽量コンクリートを用いた合成はりがせん断破壊を起こす原因として、異形鉄筋ジベルの頭部定着不十分による曲げ引抜き作用が挙げられた。そこで、本設では異形鉄筋の頭部定着改善のため、図-9 に示すような門形とフック形の2種類の形状を使用し、せん断破壊を起こしたものと

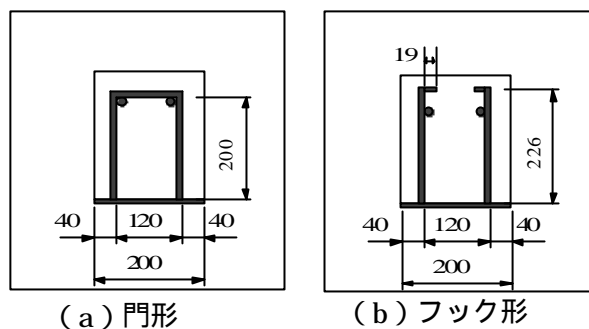


図-9 供試体図

したものと同一鉄筋径10mmの異形鉄筋ジベルを用いて補強効果を検証した。そこで、実際にこれらを用いた合成はりの載荷試験を行った。試験体の寸法、試験方法、およびコンクリートの配合は2.1節

表-2 終局耐力

type	配置間隔 (mm)	試験値 (kN)	計算値		試験値/計算値	破壊形式
			曲げ (kN)	せん断 (kN)		
D10-100	100	219	260	351	0.62	せん断
門形D10-100	100	238	242	329	0.98	曲げ
フック形D10-100	100	227	242	323	0.94	曲げ

で行った合成はりの載荷試験と同様である。試験結果を表-2 および荷重-たわみ曲線を図-10 に示す。これらより明らかなように、門形、フック形ともにせん断破壊が回避され曲げ破壊へと移行していることが確認された。また、その曲げ耐力は既往の耐力算定方法の適用が可能であることが確認された。図-11 に示す荷重-ずれ曲線からも、ずれ剛性の改善が認められる。以上のことから、長尺異形鉄筋ジベルは、ジベル頭部の定着を十分に施すことによりずれ止めとせん断補強の両機能を発揮し得ることが確認された。

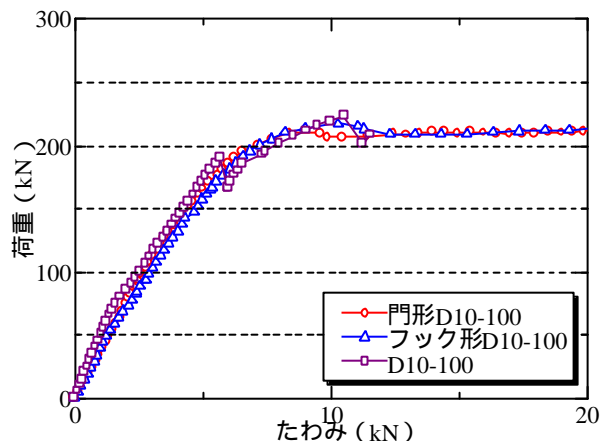


図-10 荷重-たわみ曲線

3. 結論

- 1) 長尺異形鉄筋ジベルを用いた合成はりの曲げ耐力は等価応力ブロック法の適用が可能である
- 2) 径 10mm の長尺異形鉄筋ジベルの場合には既往の設計せん断耐力よりも過小なせん断耐力しか発揮しえない。
- 3) 長尺異形鉄筋ジベルの定着不十分により、超軽量コンクリートが割裂破壊をおこしせん断破壊に至る。
- 4) 門型およびフック型長尺異形鉄筋ジベルは高い荷重域まで引き抜き作用に抵抗し、それによりせん断破壊を回避することができる。

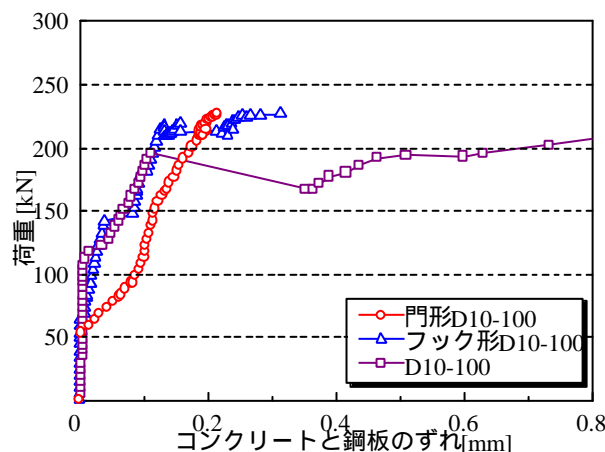


図-11 荷重-ずれ曲線

G1-5. An Experimental Study on Mechanical Properties of Super Lightweight Concrete Composite Structures with High Deformed Shear Connecters

Ryohei TAKITA

Steel-concrete composite structures have been applied to offshore structures such as floating bridges, caissons and immersed tubes, because of having high water-tightness, superior toughness and load-carrying capacity. However, they have some problems such as more dead load than steel structures and expensive due to the necessity of large moorage. Therefore, it is expected that super lightweight concrete, which enables to reduce the dead load, could be applied to steel-concrete composite structures. Although super lightweight concrete has specific gravity is approximately 1.4 and it is very light compared with the ordinary normal concrete, but it has lower shear and tensile strength compared with normal concrete. Therefore, in order to apply to such a structure, super lightweight concrete has to be reinforced to improve shear and tensile strength.

In this study, based on the consideration from the viewpoint of simplification of construction and saving of material that become important in recent infrastructure, high-deformed shear connecters have been proposed to apply to shear reinforcement in concrete. In order to investigate the mechanical properties of the composite structures using super lightweight concrete with high-deformed shear connecters, the static loading test on steel-super lightweight concrete composite beams were carried out. Furthermore, the FEM analysis was carried out to simulate the detailed stress distribution of the test specimen and the advance situation of failure mode. Finally, some useful information about the reasonable design for such a light composite structure with high deformed shear connecters was proposed.