

論文 鋼・コンクリートサンドイッチ部材を RC で接続した部材の基本特性

石原美光*¹・古市耕輔*²・平陽兵*¹・三宅正人*³

要旨: 鋼・コンクリートサンドイッチ部材を RC を介して接続する方法として, RC 部材の引張補強材に高強度鉄筋を使用し, ナットを用いて直接鋼殻に定着する方法についての特性を実験的に確認した。その結果, 定着部は鉄筋が破断に至るまで健全であり, 鉄筋間の初期締込み量のばらつきは耐力には影響しないことがわかった。RC 部材で接続したサンドイッチ部材の曲げ耐力は, RC での抵抗モーメントの考え方を適用することで安全側に評価できることが確認された。

キーワード: サンドイッチ部材, 高強度鉄筋, 定着, RC, 曲げ耐力

1. はじめに

MMST 工法¹⁾によるトンネル躯体は, 鋼殻を引張補強材とする鋼・コンクリートサンドイッチ部材(以下, サンドイッチ部材)とそれらを接続する RC 部材とから構成されている。

このように, 複数のサンドイッチ部材を RC 部材を介して接続する方法の一つとして, RC 部材の補強材は普通強度鉄筋とし, サンドイッチ部材の鋼殻(以下, 鋼殻)と鉄筋との引張力の伝達は適当な定着長をとりコンクリートを介して行う方法がある。しかし, この方法では, 鋼殻と鉄筋との力の伝達機構が不明確であり, また, 断面力が大きい構造物では, 鉄筋の配置が困難となる等の問題が生じる。

上記問題点を解決するため, RC 部材の引張補強材としては少ない鉄筋量で効率的な補強が可能な高強度鉄筋を使用し, その鋼殻との定着は, 高強度鉄筋がネジふし鉄筋であることを利用してナットにより直接行う方法を提案した。ここでは, その基本特性を実験的に確認したのでその結果について報告する。

2. 本接続構造の着目点及び実験の目的

サンドイッチ部材を接続する方法として, ここで提案した高強度鉄筋を使用しナットを用いて鋼殻に直接定着する方法を適用する場合, 以下の点について確認する必要がある。

まず第一に, 外力により発生する引張力に対して, 複数の鉄筋が均一に力を負担し, 定着部が鉄筋の降伏強度レベルにおいて健全であり, かつ引張力が鋼殻へ円滑に伝達できることである。

第二に, 接続され一体となった部材の特性が, RC における考え方を適用することで評価できるかどうかである。

ここでは, 以上の点を確認するため, 個々の特性を調べるための要素実験として, 定着部の単体引張実験と高強度鉄筋を引張補強材とした梁の曲げ載荷実験を行った。さらに, RC 部材により接続したサンドイッチ部材の特性を総合的に評価する部材実験を行った。

3. 要素実験概要及び実験結果

3. 1 定着部の単体引張実験

(1) 実験概要

本実験では, 実構造物での施工を念頭に置

* 1 鹿島(株)技術研究所 第一研究部研究員(正会員)

* 2 鹿島(株)技術研究所 第一研究部主任研究員(正会員)

* 3 新日本製鐵(株) 技術開発本部鉄鋼研究所主任研究員

いたナットの初期縮込みを行い、初期縮込み時における複数の鉄筋間の縮込み量のばらつきが耐力に及ぼす影響を調べるとともに、鉄筋が降伏強度に達するまで定着部が健全であり、かつ引張力を鋼殻に円滑に伝達できるかどうかの確認を目的とした。

試験体形状を図-1に示す。

試験体は、鉄筋間のばらつきを考慮するため、6本の鉄筋を定着する構造とした。6本の鉄筋の初期縮込み力の管理は、実施工を想定し、手締めにより同一方法を用いることで行った。

鋼殻や定着部の形状寸法は、鉄筋の降伏強度に対して十分な強度を有し、鉄筋からの引張力が鋼殻にスムーズに伝達できるよう決定した。試験体にはSS400相当の平板を使用し、高強度鉄筋には、強度は普通強度鉄筋の2倍近くあり、かつ、普通鉄筋同様の降伏棚を有するS-SD685を使用した。鋼材の材料特性を表-1に示す。

計測は、荷重点間の試験体の伸びや、高強度鉄筋・鋼殻のひずみ等について行った。

(2) 実験結果

荷重と荷重点間の試験体の伸びとの関係を図-2に示す。

実験では、1,200kN程度で鉄筋が降伏し、1,579kNに達したところで鉄筋が中央部で破断し最大荷重となった。破壊に至る過程で、定着部や鋼殻での局所的な変形や座屈、溶接切れ等は見られなかった。これより、

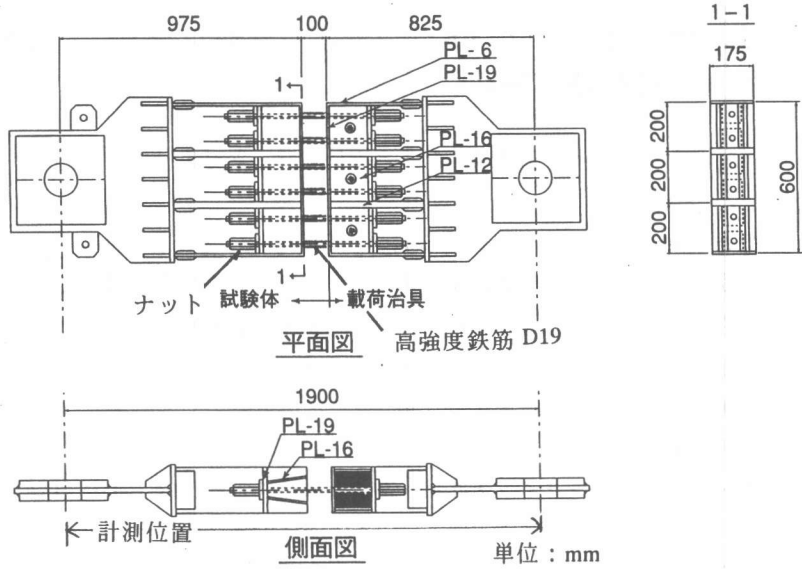


図-1 試験体形状図

表-1 鋼材の材料特性

寸法 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破断伸び (%)
3.2	296	450	36.7
6.0	346	455	30.3
12.0	311	449	29.7
16.0	282	443	29.9
19.0	323	448	32.7
D19	706	928	12.0
D25	710	943	12.2

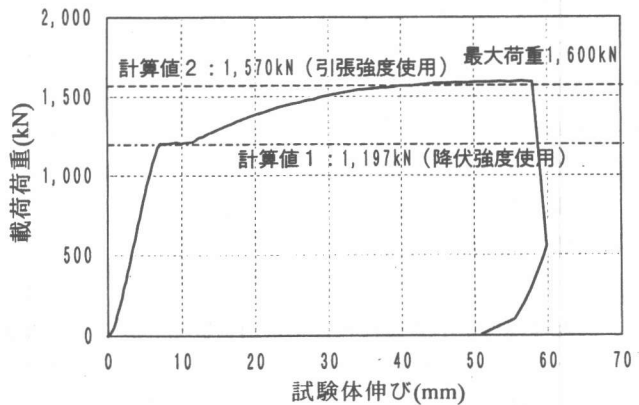


図-2 荷重-試験体伸び関係

定着部は、鉄筋が降伏し破断に至るまで健全で

あり、また、鋼殻への引張力の伝達は円滑にできていると考えられる。

図-2には、降伏強度や引張強度を用いて行った計算値も併せて示した。実験では鉄筋が破断しており、その耐力は、6本の鉄筋が同時に引張強度に達するとして計算値2と一致していることがわかる。また、実験で鉄筋が降伏した荷重も計算値と一致していることから、6本の鉄筋はほぼ均一に引張力を負担しており、鉄筋間の初期締込み量のばらつきは耐力には影響しないことが確認できた。

3.2 高強度鉄筋を引張補強材とした梁の曲げ載荷実験

(1) 実験概要

本実験は、引張補強材として高強度鉄筋を使用したRC部材の曲げ耐力に関して、RCでの抵抗モーメントの考え方が適用可能かどうかについて確認すること

を目的として実施した。

試験体形状を図-3に示す。試験体では、引張鉄筋にD25を用い、せん断破壊が先行しないように十分

なせん断補強を行える引張鉄筋量(0.3%)とした。

高強度鉄筋は、3.1節と同様S-SD685を使用した。コンクリートの実験時圧縮強度は 37N/mm^2 であった。

実験は、等曲げ区間長500mmの2点載荷で行い、載荷は、載荷容量3,000kNのジャッキを用いて行った。

載荷は、高強度鉄筋が計算上許容応力度に達する荷重(104kN)まで載荷した後一旦除荷し、その後は、破壊に至るまでの単調載荷とした。

計測は、たわみや高強度鉄筋のひずみ等について行った。

(2) 実験結果

荷重と試験体中央のたわみとの関係を図-4に、破壊時ひび割れ状況を図-5に示す。

曲げひび割れは45kNに載荷点直下で発生した。約180kNで高強度鉄筋が降伏し、たわみが急増した。最大荷重は213kNであり、破壊モードは図-5中に○で示す位置でのコンクリートの圧壊であった。また、図-5に示すとおり、ひび割れの分散性は概ね良好であった。

図-4には、曲げ耐力の計算値も示した。計算値1は、鉄筋が降伏した後コンクリートが圧壊するとして、等価応力ブロックを用いたRCでの抵抗モーメントにより、計算値2は同方法での鉄筋強度に引張強度を用いて、それぞれ求めたものである。

本試験体では鉄筋の破断にまでは至らなかったため、耐力は計算値2の8割程度であったが、

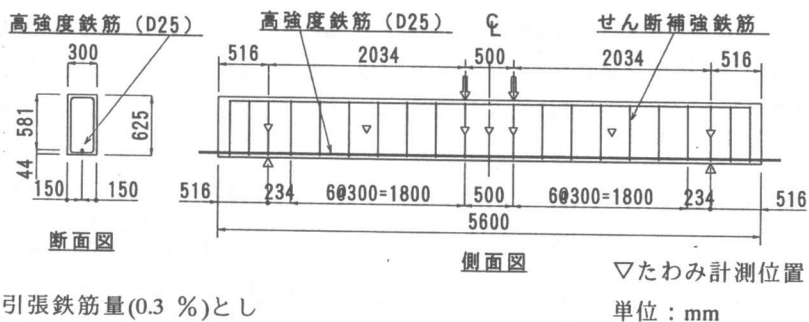


図-3 試験体形状図

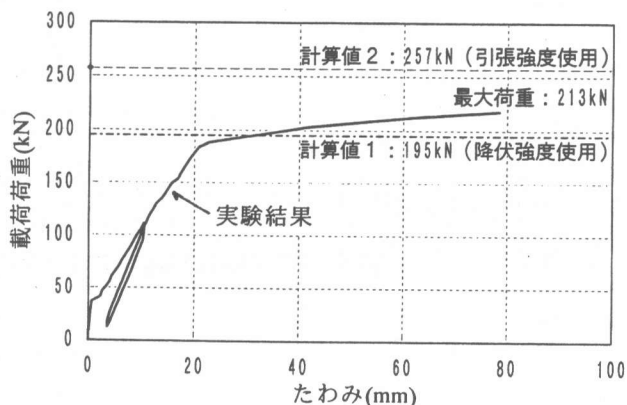


図-4 荷重-たわみ関係

コンクリートが圧壊するとした計算値 1 は十分上回っていることがわかる。

以上の結果から、引張補強材に高強度鉄筋を用いた場合、RC での抵抗モーメントによる考え方が適用可能であることが確認できた。

4. サンドイッチ部材を RC 部材で接続した梁の曲げ載荷実験

4.1 試験体

本実験は、引張補強材に高強度鉄筋を使用した RC 部材により接続されたサンドイッチ部材の特性を総合的に評価するため、RC での曲げ耐力算定式の適用性について検討を行うことを目的として実施した。

試験体形状を図-6 に示す。

ここでは、RC 部材での破壊を先行させ、同部での破壊状況を調べるため、引張鋼材量をサンドイッチ部材:1.2%, RC 部材:0.3%とし、RC 部材の曲げ抵抗力をサンドイッチ部材の約6割に設定した。鉄筋の初期締込み力の管理は、3.

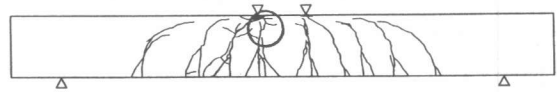


図-5 破壊時ひび割れ状況図

1節の単体引張実験の試験体と同様とした。また、せん断破壊が先行しないよう、せん断補強鋼材量をサンドイッチ部材、RC 部材ともに0.4%とし、サンドイッチ部材でのせん断補強鋼材の鋼殻への取付けは、高張力ボルトによって行った。

試験体は、RC 部材に曲げモーメントが作用する場合、及び曲げモーメントとせん断力が同時に作用する場合を想定し、RC 部材が等曲げ区間にあるもの(No.1)と、曲げせん断区間にあるもの(No.2)、各1体とした。

定着部や高強度鉄筋等の使用材料は、3.1節と同様とした。

コンクリートの配合は、実験時の目標圧縮強度を 24N/mm^2 、粗骨材最大寸法を 10mm とした。実験時圧縮強度は、No.1, No.2 ともに

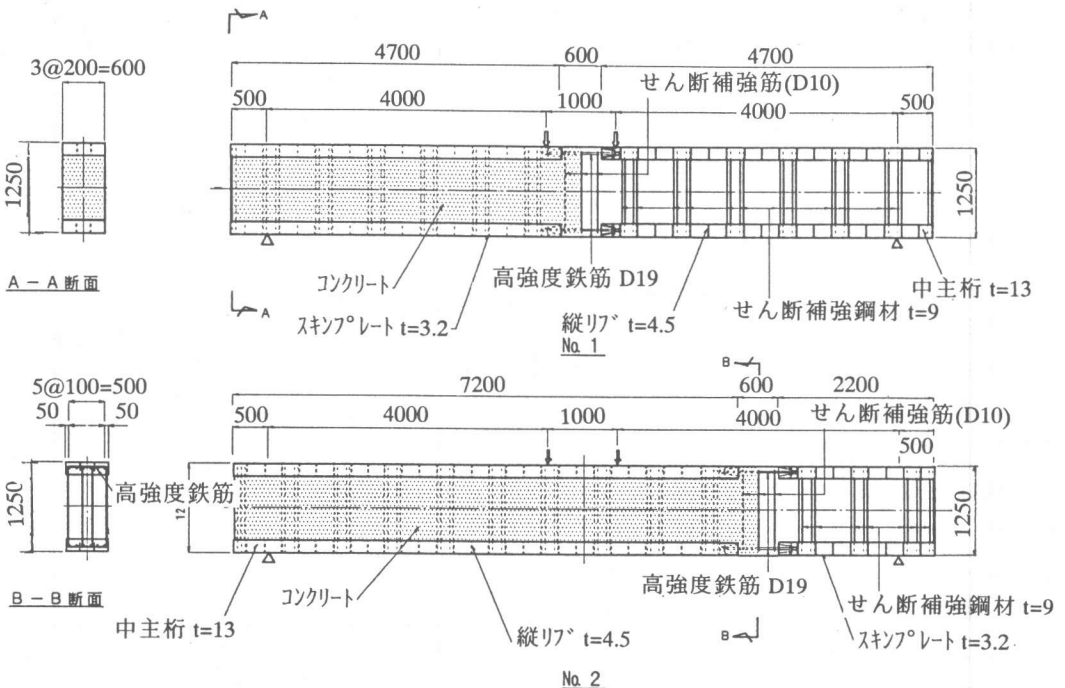


図-6 試験体形状図

単位: mm

26N/mm²であった。

4.2 実験方法

実験は、等曲げ区間長 1,000mm の 2 点荷重で行い、荷重は、荷重容量 5,000kN のジャッキを用いて行った。

荷重は、鋼殻が計算上許容応力度に達する荷重(680kN)まで荷重した後一旦除荷し、その後は、破壊に至るまでの単調荷重を基本とした。ただし、ジャッキストロークが最大となった時点で一旦除荷し、荷重装置や変位計の盛換えを行い、再び荷重した。

計測は、たわみや高強度鉄筋・鋼殻のひずみ等について行った。

4.3 実験結果及び検討

(1)実験結果

荷重と試験体中央のたわみとの関係を図-7, 8 に、破壊時ひび割れ状況を図-9 に、荷重と高強度鉄筋のひずみとの関係を図-10 に、それぞれ示す。

No.1 では、曲げひび割れは、258kN でサンドイッチ部材と RC 部材との境界位置で発生したが、ひび割れ幅は急激に大きくなることはなかった。700kN を越えたあたりで高強度鉄筋が降伏し(図-10 参照)、それに伴いたわみが急激に大きくなった。最大荷重は 880kN であり、破壊モードは、図-9 中○で示す位置での高強度鉄筋の破断であった。

一方 No.2 では、曲げひび割れは、279kN で荷重点直下に発生した。約 1,000kN で高強度鉄筋が降伏し(図-10 参照)、徐々にたわみが大きくなった。最大荷重は 1,410kN であり、破壊モードは、No.1 同様、図-9 中○で示す位置での高強度鉄筋の破断であった。

図-9 より、両試験体ともに、ひび割れの分散性は概ね良好であり、一般の RC と比較して

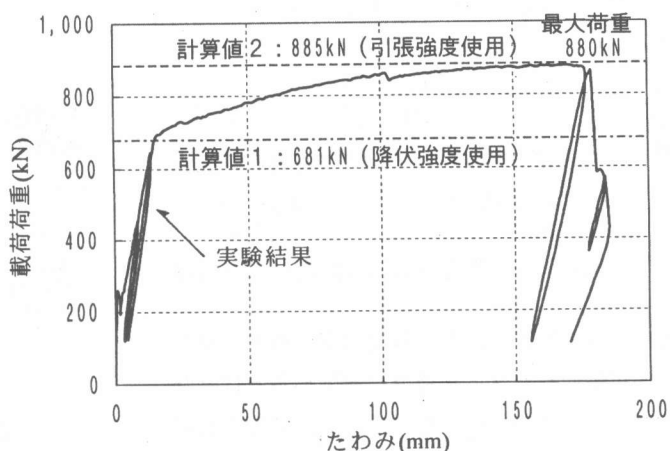


図-7 荷重-たわみ関係(No.1)

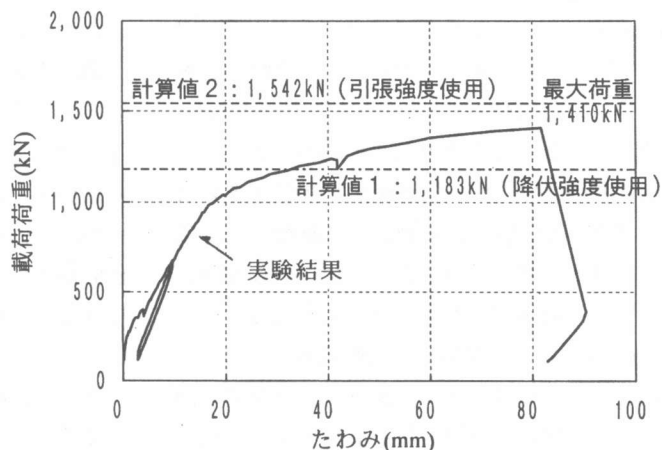


図-8 荷重-たわみ関係(No.2)

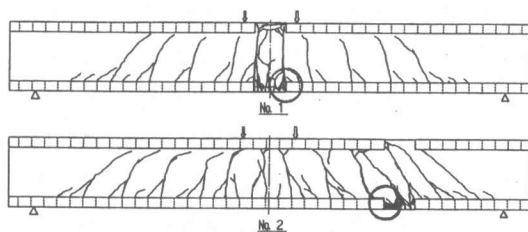


図-9 破壊時ひび割れ状況図

著しく異なる点は見られなかった。ただし、破壊時には、サンドイッチ部材と RC 部材との境界でのひび割れが卓越していた(図-9 中○)。

また、両試験体ともに、定着部での局所的な変状は見られなかった。

(2)破壊モードについて

本実験では、両試験体ともに破壊モードは高

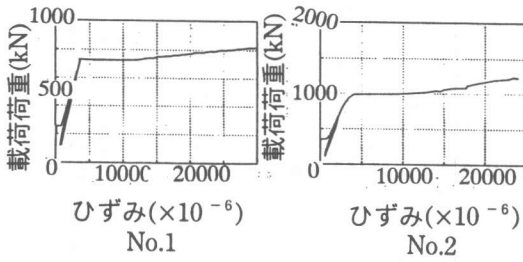


図-10 荷重-高強度鉄筋ひずみ関係

強度鉄筋の破断であり、鉄筋の降伏後コンクリートが圧壊した3.2節での実験結果とは異なっていた。この要因としては、圧壊を起こし得る領域の長さが、3.2節は500mm(荷点間距離)、本実験は600mm(RC部材長)とほぼ同じであるのに対して、そこでのかぶりが、3.2節:32mm、本実験:80mmと、本実験の試験体は3.2節の試験体の2倍以上となっており、本実験の試験体はかぶり部の断面が大きいことにより剥離が生じにくかったことが考えられる。また、RC部材の両側にある鋼殻による拘束の影響等も考えられ、このため圧壊が遅れ、本実験では鉄筋が破断したと考えられる。

(3) 実験結果と計算値との比較検討

図-7, 8には、それぞれのRC部材での曲げ耐力の計算値を併記した。計算値1は、鉄筋が降伏した後コンクリートが圧壊するとした、等価応力ブロックを用いたRCでの抵抗モーメントにより、計算値2は同方法での鉄筋強度に引張強度を用いて、それぞれ求めたものである。

これより、No.1の耐力は、計算値2とほぼ一致しており、3.1節の実験と同様、鉄筋間の初期締込み量のばらつきは耐力には影響していないことがわかる。また、計算値1に対しては十分上回っていた。

一方、No.2でも鉄筋が破断したが、その耐力は、計算値1は上回っているものの、計算値2に対しては1割程度下回っている。これは、No.2ではRC部材にせん断力が作用しているため、定着部近傍において図-11に示すような鉄筋の局部的な折れ曲がりが生じ、その影響で引張に曲げが加味されて鉄筋が引張強度に達したた

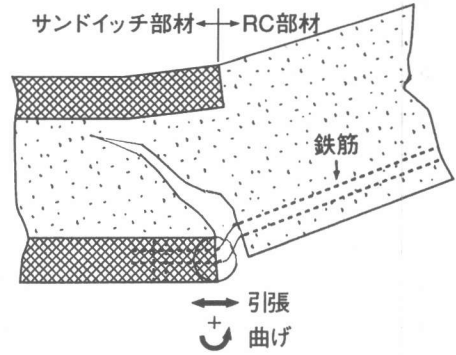


図-11 定着部局部状況図

めと考えられる。

以上の結果、RC部材で接続したサンドイッチ部材の曲げ耐力は、RCでの抵抗モーメントの考え方を適用することで、安全側に評価できることが確認できた。また、RC部材が曲げせん断区間にある場合は、鉄筋が定着部近傍での局部的な曲げを受けるため、曲げ耐力が鉄筋の破断強度を用いた計算値に比べて1割程度小さくなることがわかった。

5. まとめ

複数のサンドイッチ部材をRC部材で接続する方法として、RC部材の引張補強材に高強度鉄筋を使用し、ナットを用いて直接鋼殻に定着する方法を提案し、その特性の確認を行った。

その結果、単体引張実験における耐力が計算値とほぼ一致したことから、複数の鉄筋間での初期締め付け力のばらつきは耐力には影響せず、定着部は、鉄筋が降伏し破断に至るまで健全であることが確認できた。また、RC部材で接続したサンドイッチ部材の曲げ耐力は、RCでの抵抗モーメントの考え方を適用することで安全側に評価できることが確認された。

参考文献

- 1) 石原美光, 他: 継手を有する鋼殻によるサンドイッチ部材の曲げ特性, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19, No.2, pp.1,425-1,430, 1996.9