

異種強度コンクリートを用いた開口を有する RC 梁の構造性能

石渡 康弘*1・野畑 茂雄*2

概 要

鉄筋コンクリート造の高層建築物では、梁に比べてスラブに要求されるコンクリート強度が低くなるのが一般的である。この場合、梁とスラブのコンクリートを打ち分けるためには、止め型枠の設置等による費用や労力が必要となる。そこで、梁上部とスラブのコンクリート強度を同一とし、梁下部のコンクリートと打ち分けた梁を構築できれば合理的な施工が可能となる。

本研究では、強度の異なる 2 種類のコンクリートによって構成された梁を開発することを目的に 4 体の試験体を計画し、構造性能を把握するため構造実験を実施した。その結果全ての試験体は計画通りせん断破壊となり、せん断終局強度は計算値を上回ることを確認した。

キーワード：鉄筋コンクリート、プレキャスト、床スラブ、打ち継ぎ

STRUCTURAL PERFORMANCE OF RC BEAMS
WITH AN OPENING USING DIFFERENT STRENGTH CONCRETE

Yasuhiro ISHIWATA *1, Shigeo NOBATA *2

Abstract

In high rise buildings made of RC concrete, it is generally known that floor slabs are allowed to have a lower strength than beams. In this case, concrete is placed separately from the beam to the slab, which creates additional concerns of cost and labor from the placement of retaining forms.

To overcome this problem, if we could establish a slab-beam system which consists in separating the beam lower section during concrete placement while making the strength of the beam upper section and the slab same in grade, this solution will be a reasonable approach for construction. For this research project, by using four specimens, we developed a beam which is composed of 2 kinds of concrete different in strength, and conducted a structural experiment to understand the structural performance. All four specimens, as planned, suffered shear failure, and it is confirmed that the ultimate shear strength exceeds the calculated value.

Keywords: RC concrete, Precast, Floor slab, Concrete joint

*1 Manager, Environmental Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*2 Structural Design 2nd Group, Structural Design Department, Design Supervision Room, Architectural Division

異種強度コンクリートを用いた開口を有するRC梁の構造性能

石渡 康弘*1・野畑 茂雄*2

1. はじめに

鉄筋コンクリート造の高層建築物では、梁に比べてスラブに要求されるコンクリート強度が低くなるのが一般的である。この場合、梁とスラブのコンクリートを打ち分けるためには、止め型枠の設置等による費用や労力が必要となる。一方、梁上部とスラブのコンクリート強度を同一とし、梁下部のコンクリートと打ち分けた梁を構築することができれば止め型枠等は不要となり、合理的な施工が可能となる。本研究では、このような強度の異なる2種類のコンクリートによって構成された梁を開発することを目的に、その構造性能を把握するために構造実験を行った。

2. 実験概要

2.1 共通事項

試験体諸元を表-1に、試験体形状を図-1に示す。試験体は約1/2スケールを想定し、梁の断面寸法を300mm×400mm、スラブ厚さを100mmとし、スラブ幅は文献1)を参考に試験区間の内法スパンの0.1倍に相当する120mmで計画した。試験体は計4体製作し、開口部の無い試験体を1体、開口部を有する試験体を3体とした。コンクリートの打ち継ぎ高さは梁せいひの1/2とし、梁下部のコンクリートはプレキャスト部材を想定して梁上部のコンクリートとは別日に打設後、打ち継ぎ面に対して刷毛引きによる目荒し処理を

表-1 試験体一覧

| 試験体 | スラブ | | | 断面形状 | コンクリート強度 | | 開口 | | | 主筋 (pt) | せん断補強筋 (pw) | ずれ防止筋 | 割裂補強筋 | 想定破壊形式 |
|-------|----------|--------|---------|------|-------------------------|-------------------------|------|-------------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|----------|
| | B×D (mm) | 幅 (mm) | 厚さ (mm) | | 上部 (N/mm ²) | 下部 (N/mm ²) | 径 | 補強筋 | 補強金物 | | | | | |
| No. 1 | 300×400 | 100 | 120 | T形 | 30 | 60 | - | - | - | 4+4-D19 USD590 (2.34%) | 2-S6@100 KSS785 (0.21%) | 4-S10@100 KSS785 (中央のみ) | 2-S10@100 KSS785 | せん断破壊 |
| No. 2 | | | | T形 | 30 | 60 | φ133 | 4-S6 2組×両側 KSS785 | S8×3枚 KSS785 | | 4-S6@75 KSS785 (0.57%) | 2-S10@75 KSS785 | - | 開口部せん断破壊 |
| No. 3 | | | | T形 | 24 | 48 | | | | | | | | |
| No. 4 | | | | 矩形 | 30 | 60 | | | | | | | | |

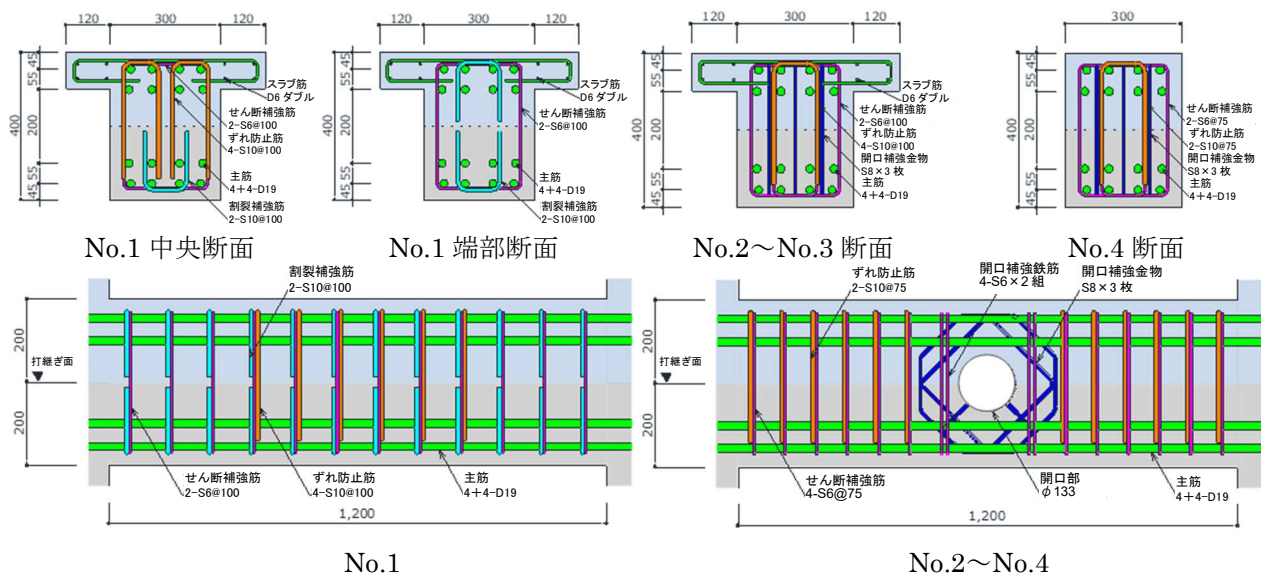


図-1 試験体形状

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 環境グループ グループリーダー

*2 建築本部 設計統括室 構造設計部 構造設計第二グループ

行った。試験体の梁の鉄筋には高層建築物への適用を見込んで、全て高強度材料を使用した。試験体 No.1~No.4 のいずれもコンクリートの打ち継ぎ面のずれによる破壊が発生しないよう、ずれ防止筋の配筋量を文献 2)に記載されている評価式に基づき決定した。試験体に使用した鉄筋の機械的性質を表-2に、コンクリートの材料試験結果を表-3に示す。

2. 2 試験体 No. 1

試験体 No.1 は、開口部の無いせん断破壊を想定した。ずれ防止筋を試験体中央のみに配筋することで、ずれ防止筋がせん断耐力の上昇に寄与する割合が少なくなるように計画した。

2. 3 試験体 No. 2~4

試験体 No.2~4 は、開口部を有する試験体であり、開口補強筋と開口補強金物を共通因子とし、コンクリート強度とスラブの有無をパラメータとした。破壊形式はいずれも開口部のせん断破壊を想定した。

3. 実験計画

載荷装置を図-2に示す。試験体への載荷は建研式加力装置に試験体を固定し、1500kNの油圧ジャッキを使った正負交番逆対称加力によって行った。加力サイクルは変位制御によって管理し、変形角 $R=\pm 1/1000rad.$ のみ1回繰り返す、以降の $\pm 1/400rad.$, $\pm 1/200rad.$, $\pm 1/100rad.$, $\pm 1/67rad.$, $\pm 1/50rad.$ は2回繰り返す計画とし、荷重が著しく低下するまで載荷を行うこととした。変位計はジャッキのストローク等以外にも、梁上部と梁下部のずれおよび開きの相対変位を測定できるように、梁上部と梁下部の打ち継ぎ面に設置した。

4. 実験結果

4. 1 最終破壊状況

各試験体の最終破壊状況を写真-1に示す。試験体 No.1 は、 $R=+1/1000rad.$ のサイクルで梁端部に曲げひび割れが発生した。 $R=+1/400rad.$ のサイクルで曲げひびわれが進展し、せん断ひび割れ

表-2 鉄筋の機械的性質

| 種類 | 呼び名 | 材質 | 降伏応力 (N/mm ²) | 降伏歪み (μ) | ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²) | 引張強さ (N/mm ²) | 破断伸び (%) |
|--------|-----|--------|---------------------------|----------|---|---------------------------|----------|
| 主筋 | D19 | USD590 | 627 | 3656 | 1.84 | 803 | 13.7 |
| せん断補強筋 | S6 | KSS785 | 878 | 5149 | 1.71 | 1075 | 4.4 |
| 開口補強筋 | S8 | KSS785 | 918 | 5210 | 1.76 | 1098 | 8.2 |
| ずれ防止筋 | S10 | KSS785 | 846 | 4727 | 1.79 | 1043 | 6.4 |
| スラブ筋 | D6 | SD295A | 321 | 2078 | 1.71 | 468 | 11.8 |

表-3 コンクリートの材料試験結果

| 試験体 | 梁上部 | | | 梁下部 | | |
|-------|---------------------------|---|-----------------------------|---------------------------|---|-----------------------------|
| | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²) | 割裂引張強度 (N/mm ²) | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²) | 割裂引張強度 (N/mm ²) |
| No. 1 | 33.2 | 2.90 | 2.50 | 64.8 | 3.21 | 4.16 |
| No. 2 | 34.8 | 2.72 | 2.53 | 63.5 | 3.48 | 4.71 |
| No. 3 | 26.8 | 2.55 | 2.39 | 49.6 | 3.29 | 3.75 |
| No. 4 | 33.8 | 3.01 | 2.75 | 66.0 | 3.49 | 3.65 |

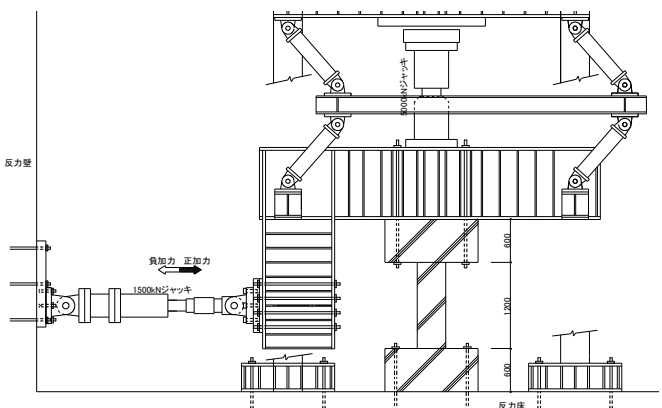
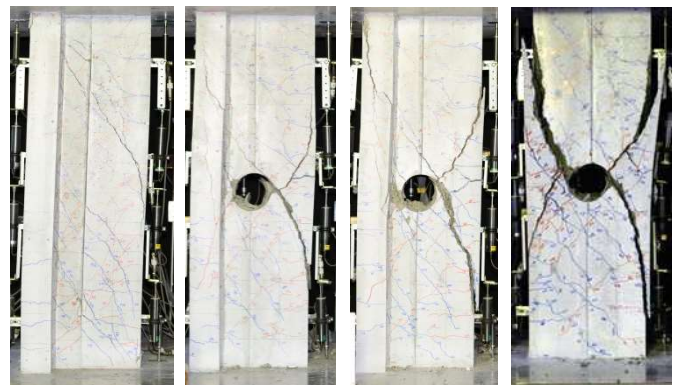


図-2 載荷装置



R=+1/33rad. R=+1/50rad. R=+1/50rad. R=+1/50rad.
No.1 No.2 No.3 No.4

写真-1 各試験体の最終破壊状況

となった。 $R=+1/100rad.$ のサイクルピーク時に最大耐力に到達した後、 $R=+1/67rad$ のサイクルで耐力が低下し、せん断補強筋が降伏した。破壊形式はせん断破壊であった。

試験体 No.2~No.4 は、いずれも $R=+1/1000rad.$ のサイクルで開口部周辺のひび割れ、梁端部の曲げひび割れが発生し、 $R=+1/400rad.$ のサイクルで

せん断ひび割れが発生した。試験体 No.2 は $R=+1/67rad$ のサイクルで最大耐力に達し、試験体 No.3 および試験体 No.4 は $R=+1/100rad$ のサイクルピーク時に最大耐力に到達した。スラブが取り付く試験体 No.2 および試験体 No.3 は、梁下部のせん断ひび割れが大きく開いて耐力が低下したが、スラブの無い試験体 No.4 は梁上部と梁下部のせん断ひび割れが同時に開いて耐力が低

下し、スラブの有無による破壊性状の違いが確認された。破壊形式は開口部のせん断破壊であった。

4. 2 せん断力-変形角関係

せん断力-変形角関係を図-3に示す。試験体 No.1~No.4 のいずれも変形角 $R=1/100rad$ ~ $1/67rad$ で最大荷重に到達した。開口部を有する試験体では、コンクリート強度が高く、スラブが付いた試験体 No.2 の荷重が最も大きくなった。

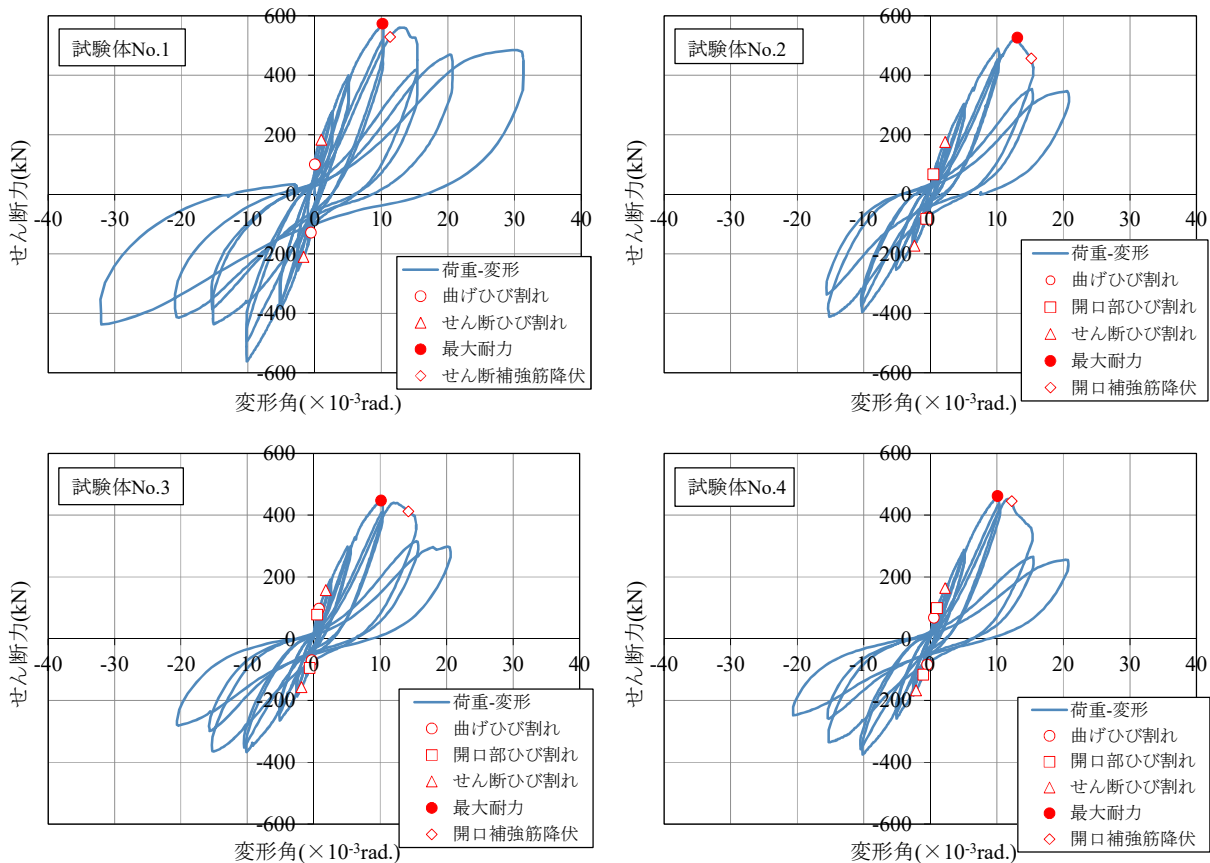


図-3 せん断力-変形角関係

表-4 実験結果一覧

| 試験体 | 破壊形式 | 実験値 | | | 計算値 | | | | | | | |
|------|----------|--------|----------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------|---------------------|------|
| | | コンクリート | | 最大荷重 Q_{max} (kN) | せん断強度 | | | | 開口部せん断強度 | | | |
| | | 位置 | σ_B (N/mm^2) | | cQ_{su1} ^{※1} (kN) | cQ_{su1}^{max} / cQ_{su1} | cQ_{su2} ^{※2} (kN) | cQ_{su2}^{max} / cQ_{su2} | スラブ未考慮 | | スラブ考慮 ^{※4} | |
| | | | | | | cQ_{suo} ^{※3} (kN) | cQ_{suo}^{max} / cQ_{suo} | cQ_{suo} ^{※3} (kN) | cQ_{suo}^{max} / cQ_{suo} | | | |
| No.1 | せん断破壊 | 梁上部 | 33.2 | 572.8 | 286.4 | 2.00 | 401.6 | 1.43 | — | — | — | — |
| | | 梁下部 | 64.8 | | 401.4 | 1.43 | 461.3 | 1.24 | — | — | — | — |
| No.2 | 開口部せん断破壊 | 梁上部 | 34.8 | 525.4 | — | — | — | — | 327.6 | 1.60 | 362.7 | 1.45 |
| | | 梁下部 | 63.5 | | — | — | — | — | 373.0 | 1.41 | 414.6 | 1.27 |
| No.3 | 開口部せん断破壊 | 梁上部 | 26.8 | 447.7 | — | — | — | — | 263.7 | 1.70 | 292.1 | 1.53 |
| | | 梁下部 | 49.6 | | — | — | — | — | 354.7 | 1.26 | 393.5 | 1.14 |
| No.4 | 開口部せん断破壊 | 梁上部 | 33.8 | 461.8 | — | — | — | — | 320.1 | 1.44 | 320.1 | 1.44 |
| | | 梁下部 | 66.0 | | — | — | — | — | 376.3 | 1.23 | 376.3 | 1.23 |

※1: 荒川mean式¹⁾による終局せん断強度、※2: 靱性指針式²⁾による終局せん断強度($R_p=0$, 付着割裂破壊を考慮)

※3: 修正広沢式³⁾による開口部の終局せん断強度

※4: T形梁を梁せいと断面積が等しい等価な矩形梁に置換⁴⁾ (No.2とNo.3の梁幅をスラブの断面積を考慮して360mmで算出)

5. 実験結果の検討

5.1 実験値と計算値の比較

実験値と計算値の比較を表-4に示す。計算値は梁上部と梁下部のコンクリート強度を使用してそれぞれ算出した。開口部を有する試験体 No.2~No.4 では、スラブが付くことによるせん断強度の上昇を考慮し、文献5)を参考にスラブが付く梁を断面積と梁せいが等しい等価な矩形梁に置換し、梁幅を割り増した計算値も併せて算出した。

試験体の最大荷重は、開口部の無い試験体 No.1 に対しては荒川 mean 式³⁾および靱性指針式⁴⁾を、開口部を有する試験体 No.2~No.4 に対しては修正広沢式⁶⁾による計算値を全て上回った。開口部を有する試験体 No.2~No.4 は、スラブによるせん断強度の上昇を考慮すると、同じコンクリート強度で計画した試験体 No.2 と試験体 No.4 の計算値に対する余裕度が、梁上部のコンクリート強度を使用して 1.45 と 1.44、梁下部のコンクリート強度を使用して 1.27 と 1.23 となり、概ね一致する結果となった。

5.2 各種補強筋の歪み分布

試験体 No.1 のせん断補強筋、割裂補強筋およびずれ防止筋の各サイクルにおける歪み分布を図-4に示す。せん断補強筋およびずれ防止筋の

歪みゲージは、コンクリート打継ぎ面のずれ変形による影響が少なくなるよう、打継ぎ面から 50mm 離れた高さに貼った。最大荷重到達時の変形角 $R=1/100\text{rad}$ において、せん断補強筋の歪みが 4.7×10^{-3} 程度であったのに対して、割裂補強筋の歪みは $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.9 \times 10^{-3}$ の範囲であり、割裂補強筋およびずれ防止筋がせん断強度に寄与した割合が少ないことを確認した。なお、せん断補強筋の歪みが降伏ひずみに達したのは、最大荷重到達後の変形角 $R=1/67\text{rad}$ に向かうサイクルの途中であった。

5.3 主筋の平均付着応力度

試験体 No.1 を対象に、主筋に貼り付けた歪みゲージの歪み量を使って求めた主筋の平均付着応力度 τ を図-5に示す。主筋の平均付着応力度は、式(1)を用いて算出した。また、付着信頼応力度 τ_{bu} は靱性指針式⁴⁾を用いて上端筋に対する低減係数を考慮せず、割裂補強筋を考慮した場合としない場合の2種類を算出した。

$$\tau = (\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i) \cdot E_s \cdot a_t / (\phi \cdot \Delta L) \quad (1)$$

ここで、 ε_i : 歪みゲージより求めた歪み量の絶対値、 E_s : 鉄筋のヤング係数、 a_t : 主筋の断面積、 ϕ : 主筋の周長、 ΔL : 隣接する歪みゲージの間隔

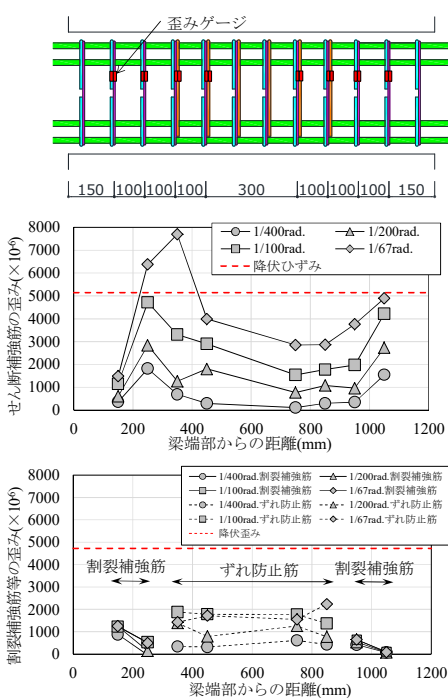


図-4 各種補強筋の歪み分布

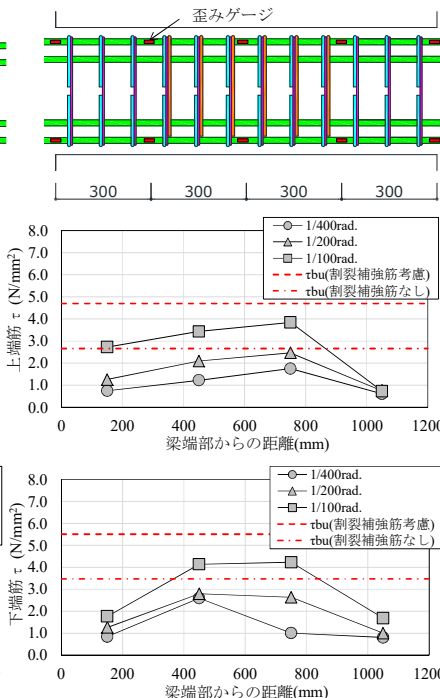


図-5 主筋の平均付着応力度

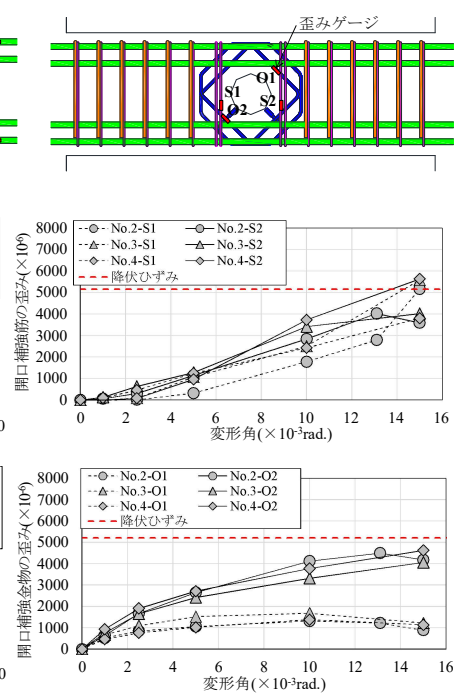


図-6 開口部周りの歪み分布

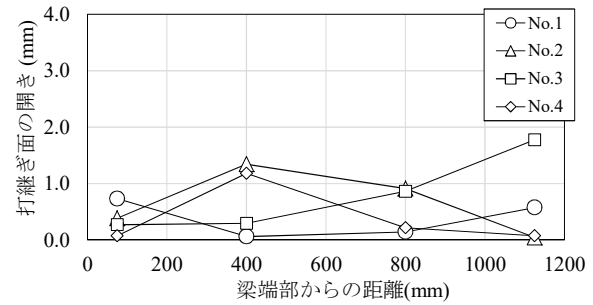
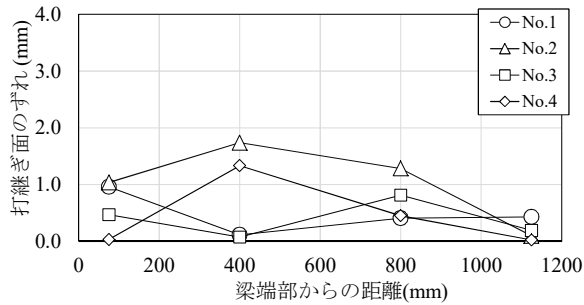


図-7 打継ぎ面のずれおよび開き（最大荷重時）

図-5 から変形角 $R=1/100\text{rad}$.において、上端筋および下端筋の平均付着応力度は割裂補強筋を考慮しない付着信頼応力度を上回ったが、変形角 $R=1/100\text{rad}$.の時点では主筋に沿った付着割裂ひび割れは発生しておらず、破壊形式もせん断破壊であったことから、割裂補強筋が付着割裂破壊の防止に有効であったと考えられる。

5.4 開口部周りの歪み分布

開口補強筋および開口補強金物の歪み分布を図-6 に示す。開口部補強筋の歪みは、試験体 No.2~No.4 のいずれも最大荷重到達後の変形角 $R=1/67\text{rad}$.付近で降伏歪みに達したが、開口補強金物の歪みは降伏歪みに達しなかった。

5.5 打継ぎ面のずれおよび開き

最大荷重時のコンクリート打継ぎ面のずれおよび開きの計測値を図-7 に示す。最大荷重時の打継ぎ面のずれおよび開きは試験体 No.1~No.4 のいずれも 2mm 以下となり、文献 2)に基づいてずれ防止筋を配筋すれば打継ぎ面のずれおよび開きを防止できることを確認した。

6. まとめ

強度の異なる2種類のコンクリートによって構成された梁を開発することを目的に、その構造性能を把握するために構造実験を行った。

得られた知見を以下に示す。

- 1) 全ての試験体で計画通りせん断破壊が確認された。また、スラブの有無による破壊性状の違いが確認された。
- 2) 本実験の試験体のせん断終局強度は、既往の設計式 γ による計算値を上回った。また、

文献 5)を用いてスラブによるせん断強度の上昇を考慮すると、スラブの無い試験体とスラブが付いた試験体の計算値に対する余裕度が本実験の範囲で概ね一致した。

- 3) 割裂補強筋を主筋の周りに配筋することは、付着割裂破壊の防止に有効であることが確認できた。
- 4) 文献 2)に基づいてずれ防止筋を配筋することは、打継ぎ面のずれおよび開きの防止に有効である。

謝辞

本実験は(株)浅沼組、(株)奥村組、(株)熊谷組、五洋建設(株)、矢作建設工業(株)と鉄建の共同研究開発の一環として実施した。本実験を実施するにあたり、共同研究各社の関係者の方々にご協力を頂きました。紙面をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2018
- 2) 日本建築学会：現場打ち同等型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針(案)・同解説，2002
- 3) 日本建築センター：建築物の構造関係技術基準解説書，2015
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所他：壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計施工指針，2003
- 6) コーリョー建販：ダイヤレンNS技術マニュアル，2018