

無筋コンクリートのひび割れ面におけるせん断伝達挙動に関する研究

Shear transfer between crack faces occurring in unreinforced concrete

北海道大学工学部

北海道大学大学院工学研究院

北海道大学大学院工学研究院

北海道大学大学院工学院

○学生員 日下部 護 (Mamoru Kusakabe)

フェロー 横田 弘 (Hiroshi Yokota)

正 員 橋本 勝文 (Katsufumi Hashimoto)

学生員 上松瀬 慈 (Shigeru Kamimatsuse)

1. はじめに

無筋コンクリートは、海岸堤防の胸壁など防災上、国土保全上、非常に重要な機能を担っているような構造物に用いられている。しかしながら、無筋コンクリート構造物のひび割れ発生状況に応じたせん断伝達メカニズムに着目した研究は稀であり、構造物の劣化度診断手法や保有性能の評価については、検討が進んでいない。そこで、上述のような重要な機能を担っている無筋コンクリート構造物についても保有性能の評価などを検討すべきであり、無筋コンクリート構造物の残存保有性能を評価するためには、ひび割れ面でのせん断伝達挙動を知ることが重要である。本研究では、無筋コンクリート供試体のひび割れ面でのせん断伝達挙動を実験的に検討し、せん断挙動のモデル化を行った。また、実験から得られた情報をモデル化して数値解析を行い、実験結果との比較によりモデルの精度を確認することを目的とした。

2. 実験概要

本検討では、中村ら¹⁾が実施した無筋コンクリート供試体を用いた実験的検討から、ひび割れ面におけるせん断伝達メカニズムのモデル化を検討した。

2.1 実験目的

本実験は、ひび割れを有するコンクリート部材の変形挙動に重点を置き、供試体の拘束条件を試験水準として、ひび割れ面におけるせん断方向の変位、ひび割れ幅、およびひび割れ面での伝達応力を明らかにすることを目的とした。

2.2 供試体概要

せん断方向の変位とひび割れ幅、せん断応力、拘束応力の4項目を測定した。実験で用いた供試体を図-1に示す。供試体の中央以外にひび割れが進展しないようにするため、D6の鉄筋を内部に3段に配置した。ひび割れ面における変形挙動を定量的に把握するために、供試体の表面と裏面に正三角形にコンタクトチップを貼り付け、載荷荷重を制御しながらチップ間の距離を測定し、せん断方向の変位とひび割れ幅を座標変換により求めた。

2.3 せん断試験方法

割裂試験を行い、図-2の破線部分にひび割れを導入した。その上で、供試体上面から拘束荷重を作用させた状態でジャッキを用いて側面からせん断載荷した。図-2のようにセットしたロードセルで荷重値を測定した。せん断試験の際には供試体の水平変位を拘束しないように、所定の位置にコロを配置した。

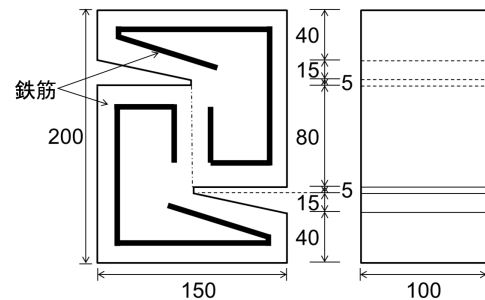


図-1 実験供試体 (単位は mm)

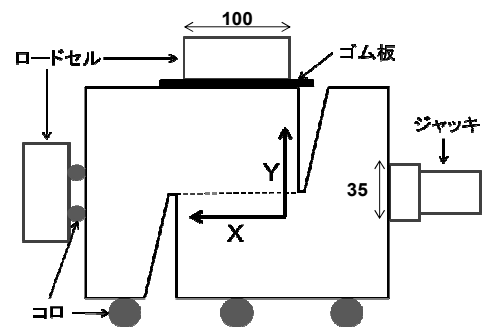


図-2 せん断試験方法 (単位は mm)

表-1 実験条件と供試体名

ゴム板	拘束荷重	5kN	10kN	10kN保持	20kN	20kN保持
1枚		No. 1-1	No. 2-1		No. 3-1	
2枚		No. 1-2	No. 2-2	No. 2-3	No. 3-2	No. 3-3

2.4 実験条件

拘束荷重を 5kN、10kN、20kN、上面に挟むゴム板の枚数を1枚あるいは2枚として実験を行った。ゴム板を多くはさむと上面の拘束が緩くなると考えられる。各供試体の実験条件を表-1に示す。

2.5 実験結果

鉄筋コンクリートにおいては、ひび割れ面において、拘束力が大きくなるにつれてせん断伝達応力も大きくなる²⁾³⁾。しかしながら、本研究においては、無筋コンクリートにおいては必ずしもその傾向が現れるわけではないことがわかった。このことから、せん断試験中の拘束応力がせん断挙動に関わっていると考え、以下のモデル化を行った。

3. せん断挙動のモデル化

実験結果により、せん断応力はせん断方向の変位の平

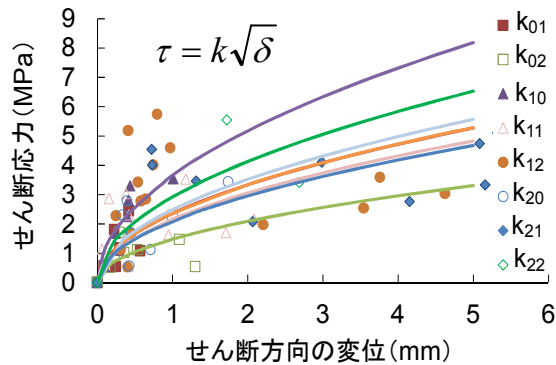


図-3 実験値によるせん断伝達モデル

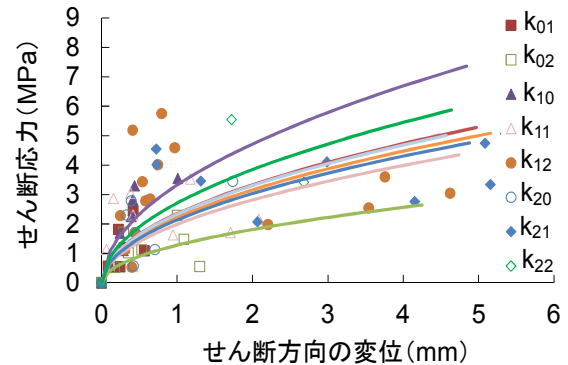


図-4 解析結果と実験値

 表-2 せん断伝達係数 k

	k_{01}	k_{02}	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{20}	k_{21}	k_{22}
拘束荷重(kN)	0~10	10	10~20	20	20~30			
ゴム板の枚数	1	2	2	1	2	2	1	2
k_g	2.36	1.48	3.66	2.16	2.36	2.49	2.09	2.92

方根に比例する挙動を示すことがわかった。そのため、せん断方向の変位 δ (mm) とせん断応力 τ (MPa) の関係をせん断伝達係数 k を用いて式(1)のように表すことにした。

$$\tau = k\sqrt{\delta} \quad \text{..... (1)}$$

ここで、 k (単位: $\text{N} \cdot \text{mm}^{(-5/2)}$) は拘束条件によって変化すると考えられる。図-3 は拘束条件ごとに分類したせん断応力とせん断方向の変位の関係を示している。また、式(1)で表した近似曲線を示す。表-2 には各拘束条件によるせん断伝達係数 k を示している。以上から、拘束応力に基づくせん断伝達係数を定式化することができた。

4. 解析条件および解析モデル概要

前述のせん断試験を解析対象とし、解析には有限要素解析プログラムの DIANA (Ver.9.6) を使用した。解析モデルは離散ひび割れモデルとし、1 要素が 5mm 四方となるように供試体の各辺に分割数を設定した。コンクリート要素には 8 節点平面応力要素を用い、ヤング係数を 25000N/mm^2 、ポアソン比を 0.15 とする完全弾性体とした。また、供試体中央 (図-2 の破線部分) に界面要素を挿入することにより、ひび割れを表現した。この界面要素には実験結果をもとにモデル化した式(1)のせん断挙動を示すものとした。図-2 と同様に、境界条件および荷重条件は供試体下辺を鉛直方向に、左辺を水平方向に拘束し、右辺中央に荷重による漸増载荷とした。入力条件とするせん断モデルには上面からの拘束条件をすでに含んでいるため、解析においては実験において設定した上面からの拘束に関する情報は設定していない。収束計算には修正ニュートン・ラブソン法を採用した。

5. 結果および考察

図-3 および表-2 から、拘束荷重が小さい場合、ひび割れ面において骨材がかみ合うまでに、空間的な余裕があるため、せん断応力はそれほど大きくならないと考え

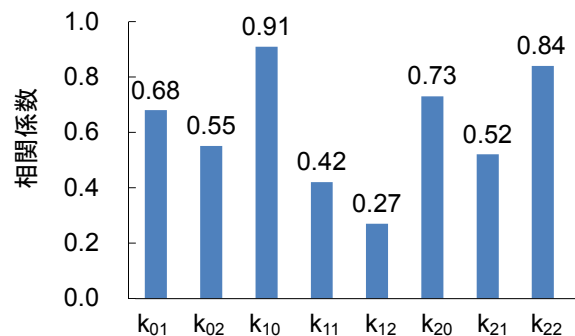


図-5 解析値と実験値の相関係数

られる。図-4 にせん断応力-せん断方向の変位応答の実験値と解析値 (実線) の比較を示している。また、図-5 は実験値と各条件により決定される k での解析値の相関係数を示している。図-4 および図-5 が示すように、条件によって再現性にばらつきがあった。本研究では、影響要因の 1 つである拘束条件のみに着目しせん断伝達係数を算出した。ひび割れ幅などの他の要因にも着目し、せん断伝達係数の一般化、構造物の保有性能評価の手法について検討を進める予定である。

6. まとめ

- 1) せん断試験を行い、せん断挙動をモデル化した。
- 2) 求めたモデルを用いて有限要素解析を行った。
- 3) 実験値と解析値を比較し、相関係数を算出した。
- 4) 複数の要因に着目し、せん断伝達係数の一般化などについて検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 中村美沙子, 横田弘, 橋本勝文: 無筋コンクリートのひび割れ面におけるせん断伝達に関する基礎研究, 土木学会北海道支部論文報告集, No.71, 2015
- 2) 吉川弘道, 呉智深, 田辺忠顕: 数値シミュレーションによるひび割れ界面における非線形挙動の考察, 土木学会論文集, Vol.11, No.408, pp.71-80, 1989.
- 3) 吉川弘道, 田辺忠顕: コンクリート部材のひびわれ界面における力学的挙動に関する解析的研究, 土木学会論文集, Vol.5, No.372, pp.101-110, 1986.