

令和 2 年 9 月 29 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06549

研究課題名（和文）拘束圧効果によるRC版の動的押抜きせん断耐力向上機構の解明と耐力評価モデルの開発

研究課題名（英文）Elucidation of dynamic punching shear strength improvement mechanism of RC plates by confining pressure effects and its resistance evaluation model

研究代表者

藤掛 一典（FUJIKAKE, KAZUNORI）

防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・システム工学群・教授

研究者番号：10532799

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、拘束圧効果によるRC版の動的押抜きせん断耐力向上機構の解明と耐力評価モデルの開発である。本研究では、面内拘束圧を受けるRC版の押抜きせん断試験と非線形有限要素解析を介して様々な検討を行った。その結果、RC版の押抜きせん断耐力時には、RC版の載荷版近傍には周辺には応力レベルの大きな3軸圧縮応力領域が形成され、この部分のコンクリートに圧縮破壊が生じることが分かった。また、その耐荷メカニズムに基づく角錐シェルモデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、拘束圧効果によるRC版の押抜きせん断耐力機構の解明と耐力評価モデルの開発を行った。本研究では、特に押抜きせん断破壊メカニズムに基づく耐力評価モデルを構築したことが学術的意義が高いといえる。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to find out the punching shear failure mechanism of RC slabs subjected to in-plane confining pressures and to develop an evaluation model for estimating the punching shear resistance through experimental investigation and nonlinear finite element analysis. As a result, it was found that triaxial compression region was formed in the vicinity of the loading plate, and the compression failure of concrete in this region caused punching shear failure of the RC slab. Therefore, a pyramid shell model was newly developed based on the load bearing mechanism formed around the vicinity of the loading plate.

研究分野：構造工学

キーワード：RC版 押抜きせん断耐力 押抜きせん断破壊メカニズム 面内拘束圧 動的効果

1. 研究開始当初の背景

国土強靱化基本法で規定される国民の生命や財産を守り『強さとしなやかさ』を備えた社会を構築するためには、想定を超えるような大規模自然災害時に発生する津波漂流物、竜巻飛散物、土石流、落石等の衝突による衝撃荷重の作用に対して、鉄筋コンクリート(RC)構造物には高い耐衝撃性が要求される。このような衝撃荷重を受けると主要部材である RC 版には主に押抜きせん断破壊が形成されると考えられる。したがって、RC 版の耐衝撃性を上げるためには、押抜きせん断耐力を効率よく向上させることが必須であると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、拘束圧効果による RC 版の押抜きせん断耐力機構の解明と耐力評価モデルの開発である。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、まず、無拘束圧状態の RC 版の押抜きせん断耐力試験ならびに非線形有限要素解析を介して、RC 版の押抜きせん断破壊メカニズムについて検討する。そして破壊メカニズムに基づき、RC 版の押抜きせん断耐力の評価モデルを開発する。

(2) 次に、面内拘束圧を受ける RC 版の押抜きせん断耐力試験と非線形有限要素解析を介して、面内拘束圧が RC 版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響を調べるとともに、押抜きせん断耐力機構に基づく耐力評価モデルを開発する。

(3) 最後に、面内拘束圧を受ける RC 版の押抜きせん断耐力に荷重速度が及ぼす影響を実験的に検討する。

4. 研究成果

(1) 無拘束圧状態の RC 版の押抜きせん断耐力に関する非線形有限要素解析結果から、押抜きせん断耐力時には、図 1 に示すように荷重版周辺に非常に応力レベルの大きな 3 軸圧縮応力領域が形成され、この部分が圧縮破壊することによって押抜きせん断破壊が生じることがわかった。

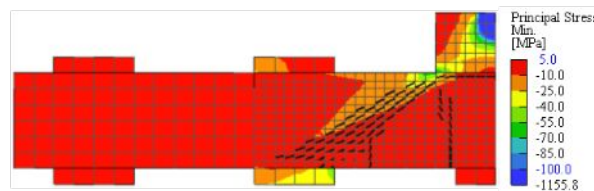


図 1 押抜きせん断耐力時における最小主応力分布（無拘束圧状態の RC 版）

(2) 無拘束圧状態の RC 版の非線形有限要素解析から得られた押抜きせん断破壊破壊メカニズムに基づき、図 2 に示す角錐シェルモデルを開発した。

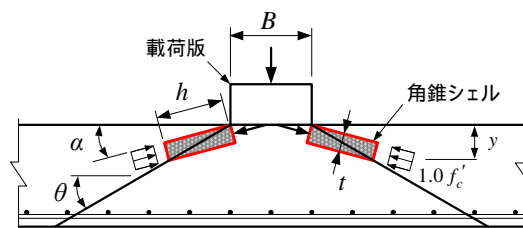


図 2 押抜きせん断耐力の角錐シェルモデルによる耐力機構

(3) 本研究で開発された無拘束圧状態の RC 版の押抜きせん断耐力を評価するための角錐シェルモデルを既往の 194 個の試験結果と比較検討したところ、図 3 および図 4 に示すように非常に良い一致を与えることがわかった。

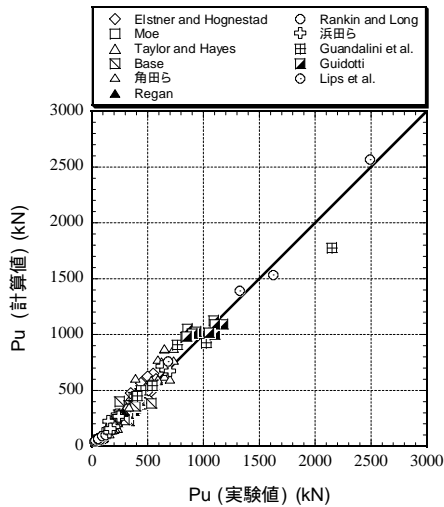


図3 既往の実験結果との比較（全体）

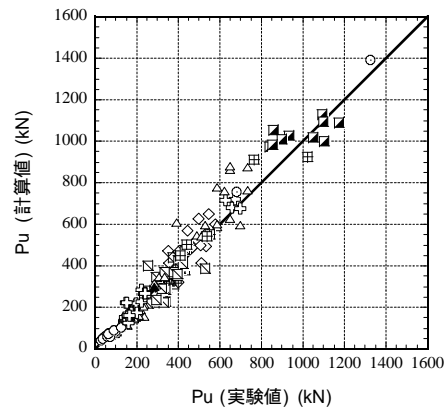


図4 既往の実験結果との比較（全体）

(4) 図5に示すような無拘束圧状態, 1方向拘束圧状態ならびに2方向拘束圧状態におけるRC版の押抜きせん断載荷試験と非線形有限要素解析を行った結果, 拘束状態の作用する状態においても図6に示すように押抜きせん断耐力時には, 載荷版周辺の近傍に高い3軸圧縮応力領域が形成され, この部分が圧縮破壊することによって押抜きせん断破壊することがわかった。

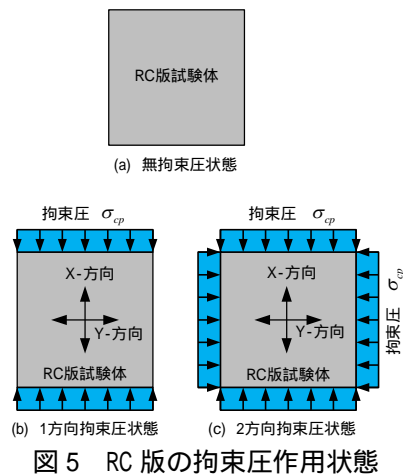


図5 RC版の拘束圧作用状態

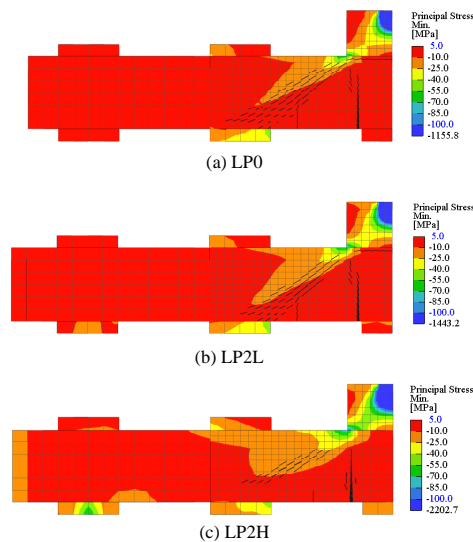


図6 無拘束ならびに2方向拘束圧状態における代表的な最小主応力分布およびひび割れ分布

(5) 面内拘束圧を受ける RC 版の押抜きせん断耐力に関しては、拘束圧の影響を等価換算鉄筋比として考慮することにより耐荷機構に基づく角錐シェルモデル（例えば図 7 参照）を用いて図 8 に示すように評価できることが明らかとなった。

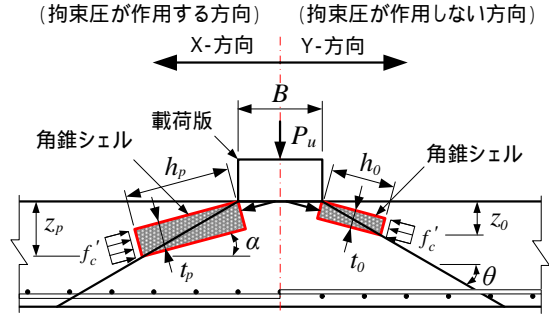
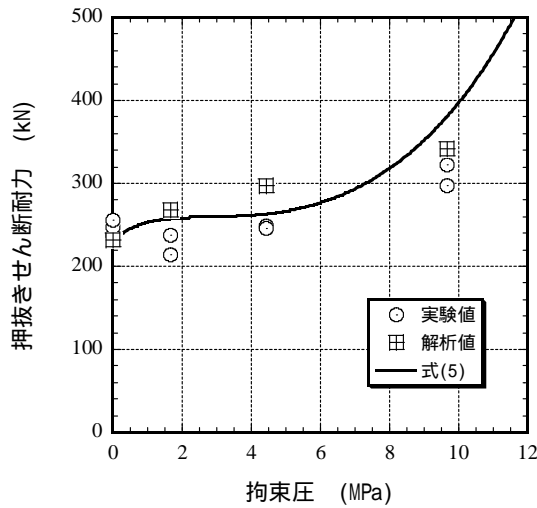
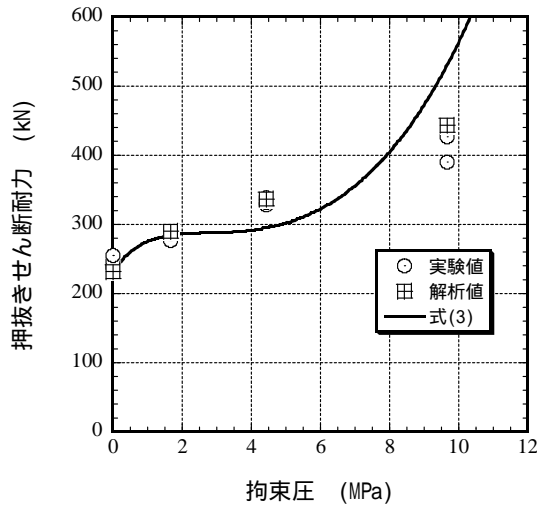


図 7 1 方向拘束圧状態に対する角錐シェルモデル



(a) 1 方向拘束圧状態 (LP1)



(b) 2 方向拘束圧状態 (LP2)

図 8 面内拘束圧の影響を考慮した角錐シェルモデルによる押抜きせん断耐力の評価

(6) 面内拘束圧を受ける RC 版の押抜きせん断耐力に荷重速度が及ぼす影響を調べたところ図 9 を得た。この図から荷重速度 0.2m/s で概ね 30%程度押抜きせん断耐力の増加が見込めることが分かった。この値は、コンクリートの圧縮強度のひずみ速度効果による影響によるものと考えられる。

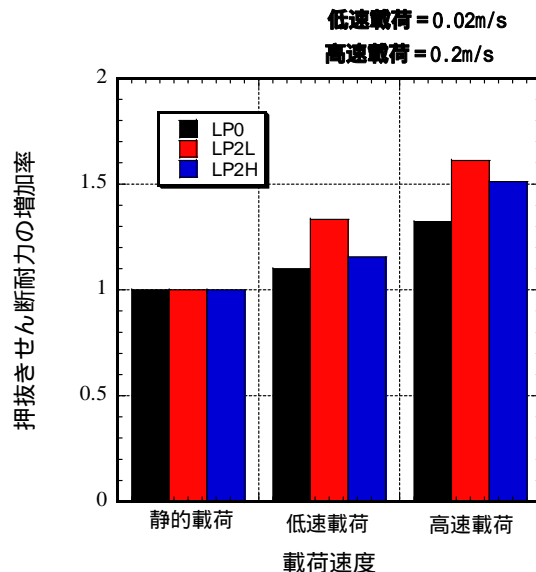


図9 RC版の押抜きせん断耐力に载荷速度が及ぼす影響

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

藤掛一典, 板垣 端, 池田晋平, 東郷智之, 竹内啓五: 鉄筋コンクリート版の押抜きせん断破壊メカニズムに関する研究, 土木学会論文集, 査読有, pp.1~11, 2020 (投稿中).

藤掛一典, 板垣 端, 池田晋平, 東郷智之, 竹内啓五: 面内拘束圧を受ける鉄筋コンクリート版の押抜きせん断耐力に関する研究, 土木学会論文集, 査読有, pp.1~14, 2020 (投稿中).

〔学会発表〕(計4件)

前田竜輝, 松浦伽奈, 板垣 端, 藤掛一典: 支持条件が RC 版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響, 第45回土木学会関東支部技術研究発表会, 2018.

板垣 端, 前田竜輝, 松浦伽奈, 藤掛一典: 拘束圧が鉄筋コンクリート版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響, 第45回土木学会関東支部技術研究発表会, 2018.

板垣 端, 佐藤匡浩, 藤掛一典: 拘束圧が RC 版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響と解析的評価, 第73回土木学会年次講演会, 2018.

板垣 端, 佐藤匡浩, 藤掛一典: 拘束圧が RC 版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響と非線形有限要素解析による評価, 第46回土木学会関東支部技術研究発表会, 2019.

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤掛 一典 (FUJIKAKE KAZUNORI)

研究者番号: 10532799

(2)研究分担者

河野 進 (KONO SUSUMU)

研究者番号: 30283493

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 板垣端, 佐藤匡浩, 藤掛一典
2. 発表標題 拘束圧がRC版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響とその解析的評価
3. 学会等名 第73回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 板垣端, 佐藤匡浩, 藤掛一典
2. 発表標題 拘束圧がRC版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響と非線形有限要素解析による評価
3. 学会等名 第46回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田竜輝, 松浦伽奈, 板垣端, 藤掛一典
2. 発表標題 支持条件がRC版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響
3. 学会等名 第45回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 板垣端, 前田竜輝, 松浦伽奈, 藤掛一典
2. 発表標題 拘束圧が鉄筋コンクリート版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響
3. 学会等名 第45回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	河野 進 (KONO SUSUMU) (30283493)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	