

粗骨材寸法および圧縮側鉄筋量による RC 床版のせん断強度に関する影響

Influence of the Amount of Compressive Reinforcement and the Coarse Aggregate Size on the Punching Shear Strength of RC Slab

楊 秋寧*, 浜田純夫**, 江上真介***, 毛 明傑****, 山本尚文*****

Qiuning YANG, Sumio HAMADA, Shinsuke ENOUE, Mingjie MAO, Naohumi YAMAMOTO

*修(工) 山口大学大学院 理工学研究科環境共生工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

**Ph.D. 山口大学大学院教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

***山口大学大学院 理工学研究科社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

****博(工) 山口大学外国人研究者 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

*****名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

Numerous studies have been placed on the punching shear failure of RC slab, and a large number of formulas were proposed to consider the parameters having effect on the punching shear strength of RC slab. Generally, the parameters such as effective slab depth, compressive strength, steel ratio and the size of loading plate were considered. However, the coarse aggregate size and the amount of compressive reinforcement were not used to evaluate the punching shear strength. This study places emphasis on the effect of them on the punching shear strength of slab. An experimental model test was employed to investigate their influences on the strength.

Key Words : reinforced concrete slabs, shear strength, amount of compressive reinforcement, the coarse aggregate size

キーワード : RC 床版, せん断強度, 圧縮鉄筋量, 最大粗骨材寸法

1. はじめに

道路橋床版の中で最も単純な鉄筋コンクリート床版(以下, RC 床版と略す)の強度に関する研究結果が, 国内外の多くの研究者により発表されている。RC 床版の押抜きせん断強度に関する研究は, 実験に基づいたせん断強度に影響する要因およびせん断強度の算定方法の提案に関するものが多く, 床版のせん断破壊機構の解明に関する研究は十分ではない。

RC 床版のせん断破壊を考える場合, 床版に作用するせん断力は, 圧縮側のコンクリート部分, 骨材のかみ合わせ作用, および水平鉄筋のダウエル効果に分担されると考えられている¹⁾。その中で, コンクリート強度が床版の押抜きせん断強度に与える研究と比べ, 骨材による影響²⁾に関する研究は, 国内外ともに少なく, 十分な研

究がなされていない。

鉄筋コンクリート構造物のせん断強度に対する骨材寸法の影響は, 骨材自体のみならず, コンクリート強度にも起因した作用との複合作用である。また, 骨材寸法と断面寸法の相対的關係も, 骨材のかみ合わせ作用に影響をもたらす。断面の小さな部材においては, 相対的に骨材寸法が大きいと, かみ合わせ作用が大きい。断面寸法として有効高さを考えると, 有効高さが小さいほど, かみ合わせ作用が期待できることになる^{3),4)}。しかしながら, 既往の研究において骨材寸法による影響は, 部材断面との対比しかなされていない。そこで, RC 床版における骨材寸法の影響を検討することとした。

一方, 鉄筋による床版のせん断破壊に対する抵抗は, 一般的に引張側の鉄筋のみの鉄筋比および降伏強度によ

るものである。また、床版はせん断破壊が発生する時、ひび割れ部分に位置する引張鉄筋は、ダウエル効果によってせん断力に抵抗している。ダウエル効果については全せん断強度の20%~30%とされているが^{5),6)}、この効果はほとんどないとする報告もある⁷⁾。床版の押抜きせん断実験をみると、床版が押抜きせん断破壊する前に、ひびわれが床版上面まで貫通しているため、ダウエル効果は引張側の鉄筋だけでなく、圧縮側の鉄筋も関連していると考えられる。そこで、圧縮側の鉄筋量の違いが床版のせん断強度に与える影響を検討することとした。

以上のことより、本研究では、粗骨材寸法および圧縮側鉄筋量を変数としたRC床版の静的押抜きせん断試験を行い、これらのパラメータの変化が床版の押抜きせん断強度に及ぼす影響について検討を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料および配合条件

RC床版供試体を製作するために使用した材料を表-1に示す。混和剤には、AE減水剤を使用した。コンクリートの骨材はいずれも表面乾燥飽水状態の試料を用いた。引張および圧縮鉄筋とも直径10mmの異形棒鋼D295Aを使用した。鉄筋の機械的性質を表-2に、コンクリート配合を表-3および表-4に示す。

表-1 使用材料

	産地および種類	表乾密度 (g/cm ³)	粗粒率	最大骨材寸法 (mm)	吸水率 (%)
細骨材	北九州産海砂 (水洗海砂)	2.54	1.75	5	1.20
粗骨材	山口県宮野産 碎石	2.73	5.79	20 / 40	0.75
セメント	普通 ポルトランドセメント	3.16	—	—	—
混和剤	ヒトロキシ系複合 体・リガニン誘導体	—	—	—	—

表-2 鉄筋の機械的性質

区分	種類の記号	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	引張試験片	伸び (%)
異形棒鋼	SD295A	294 以上	441~598	2号に準 じるもの	16 以上
				3号に準 じるもの	18 以上

* 本試験は2号に準じる鉄筋を用いる。

表-3 コンクリートの配合(最大粗骨材寸法 20mm)

W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)	混和剤 (A)
58	44	158	273	828	1095	0.90

表-4 コンクリートの配合(最大粗骨材寸法 40mm)

W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)	混和剤 (A)
58	39	158	273	750	1170	0.90

2.2 材料試験

コンクリートの硬化後の力学的特性を調べるため、材齢28日目に圧縮強度試験(JIS A 1108)を行なった。圧縮強度試験には、最大粗骨材寸法20mm使用の供試体に対しては円柱供試体(φ10×20cm)を、最大粗骨材寸法40mm使用の供試体に対しては円柱供試体(φ15×30cm)を用いた。

2.3 供試体概要

RC床版供試体の概要を表-5に示す。供試体寸法はいずれも1500mm×1500mm×130mmである。粗骨材寸法の影響を調べるため、最大粗骨材寸法は20mmと40mmの2種類とした。また、圧縮側鉄筋量の影響を調べるため、鉄筋量についてはAs' (圧縮側鉄筋段単位幅あたり断面積)とAs (引張側鉄筋段単位幅あたり断面積)

表-5 供試体概要

供試体 No.	Fc' (N/mm ²)	L (mm)	H (mm)	d (mm)	As (mm ²)	As' (mm ²)
20-As-1	24.9	1500	130	100	784.6	784.6
20-As-2	24.9	1500	130	100	784.6	784.6
20-1/2As-1	34.7	1500	130	100	784.6	499.3
20-1/2As-2	32.5	1500	130	100	784.6	499.3
40-As-1	23.7	1500	130	100	784.6	784.6
40-As-2	23.7	1500	130	100	784.6	784.6
40-1/2As-1	26.5	1500	130	100	784.6	499.3
40-1/2As-2	26.5	1500	130	100	784.6	499.3

* Fc': コンクリート圧縮強度, L: 床版の一辺辺長,
H: 床版厚, d: 有効高さ, As: 引張側鉄筋断面積,
As': 圧縮側鉄筋断面積

が等しいタイプ ($As' = As$) と、 As' が As の半分のタイプ ($As' = 1/2 As$) の 2 種類とした。これら計 4 種類についてそれぞれ 2 体ずつ供試体を作製した。

RC 床版供試体の呼び方と各因子の関係を図-1 に示す。配筋図および断面図を図-2 および図-3 に示す。

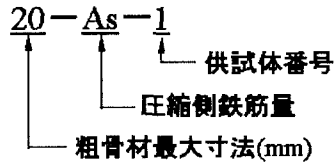


図-1 供試体の呼び方

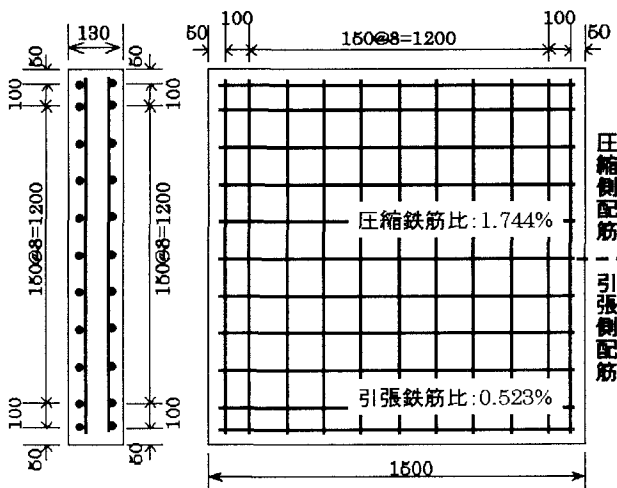


図-2 供試体の配筋図および断面図 (20・40-As-1,2)

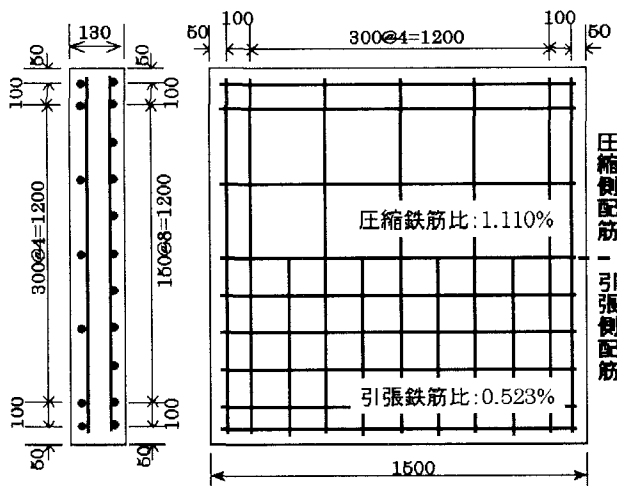


図-3 供試体の配筋図および断面図 (20・40-1/2As-1,2)

2.4 試験方法

試験方法は、いずれの供試体も同一条件とし、材齢 28

日以降に載荷試験を行った。支持条件はスパン長 1300mm×1300mm とし、支承には直径 50mm の丸棒鋼を使用し、四隅の浮き上がり防止は設けない四辺単純支持とした。また、載荷位置は供試体中央とし、載荷板辺長 100mm の正方形鋼板を用い、厚さ 5mm の硬質ゴム板を介して静的載荷実験を行った。載荷時において、床版中央のたわみ、床版圧縮側および引張側のコンクリートひずみ、引張側鉄筋ひずみを測定した。また、破壊後にひび割れ性状を観察した。

3. 試験結果と考察

3.1 破壊荷重

本研究で試験した床版供試体はいずれも載荷板直下で押し抜かれ、押抜きせん断破壊を起こしていた。4 種類供試体の破壊荷重の平均値を図-4 に示す。

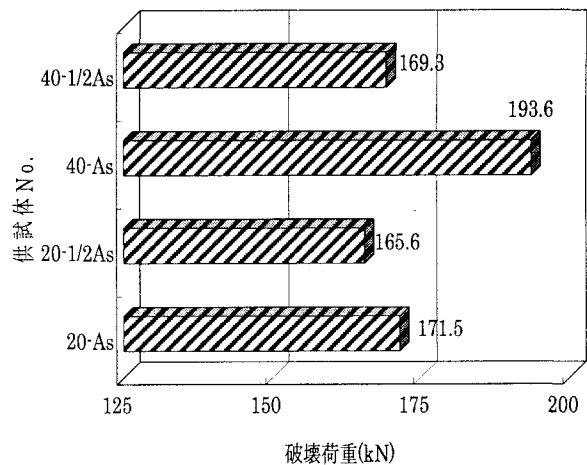


図-4 供試体の破壊荷重

最大粗骨材寸法が同じ供試体について、圧縮側鉄筋量の違いによる破壊荷重を比較すると、コンクリートの圧縮強度がほぼ同じであるにもかかわらず、圧縮側鉄筋量が引張側鉄筋量と等しい As シリーズの方が $1/2As$ シリーズと比較して、せん断強度が骨材寸法 20mm の供試体は 3.6%、骨材寸法 40mm の供試体は 14.4% 大きくなっている。このことから圧縮側鉄筋量が強度に影響を及ぼしていると考えられる。

As シリーズについて、最大粗骨材寸法の違いによる破壊荷重を比較すると、骨材寸法 40mm の供試体のせん断強度が大きいことがわかる。このことから最大粗骨材寸

法が床版のせん断強度に影響を及ぼしていると考えられる。

3.2 破壊状況およびひび割れ性状

供試体の破壊状況を見ると、すべての供試体においてひび割れは荷重の増加と共に床版の中央から四隅に向かって放射線状に進展し、側面まで達していた。破壊荷重に達すると同時に供試体上面で載荷板とほぼ同じ形状をし、コーン状に陥没していた。また、同時に供試体下面においてコンクリートのはく離破壊を生じていた。実験後のひび割れの状態およびはく離破壊の状態を写真-1～

写真-8に示す。

供試体をはつり、破壊断面を観察した結果、粗骨材および圧縮側鉄筋量の変化による、床版のせん断破壊部分の断面形状と面積に明確な影響がみられなかった。骨材寸法40mmの供試体はひび割れ幅が0.3mm程度、20mmの供試体はひび割れ幅が1.8mm程度と、40mmの方はひび割れ幅が若干小さくなっている。この理由については明らかな原因が分からないため、今後実験数を増やして検討する必要がある。また、供試体40-1/2As-1上面の陥没破壊面積が大きい理由は、破壊時における試験装置の制御の不具合が原因と考えられる。

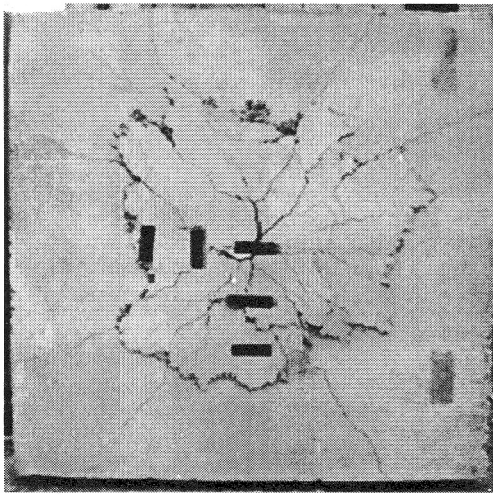


写真-1 床版のひび割れ状況(20-1/2As-1)

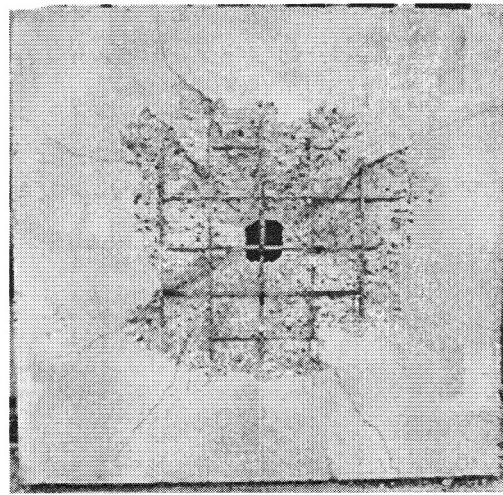


写真-2 床版のはく離破壊状況(20-1/2As-1)

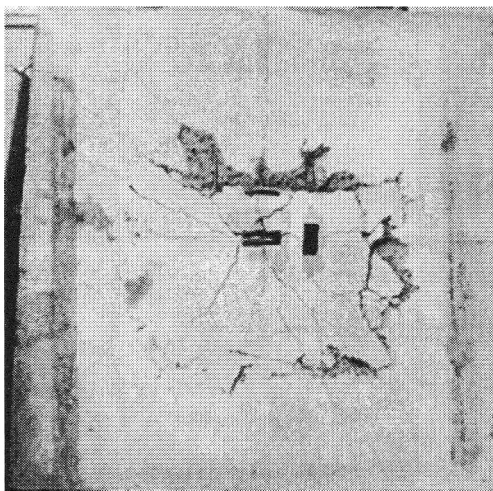


写真-3 床版のひび割れ状況(20-As-1)

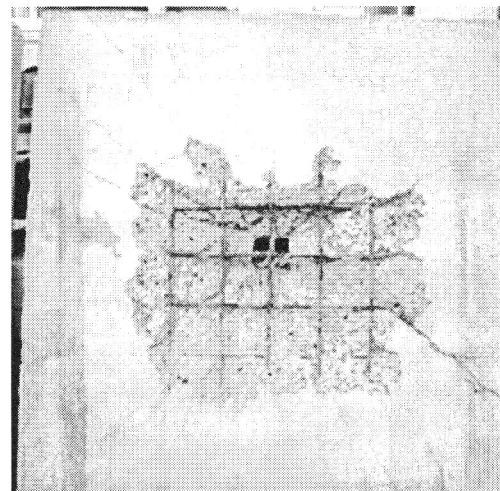


写真-4 床版のはく離破壊状況(20-As-1)

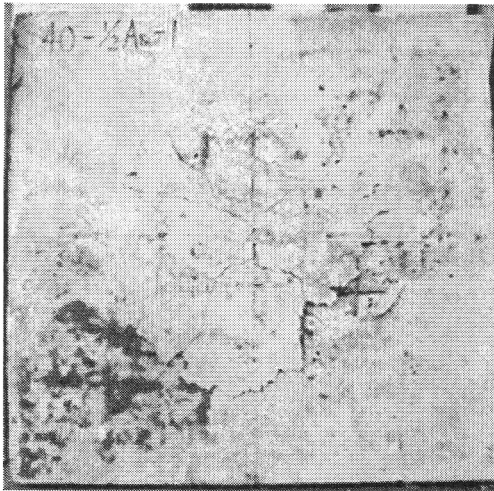


写真-5 床版のひび割れ状況(40-1/2As-1)

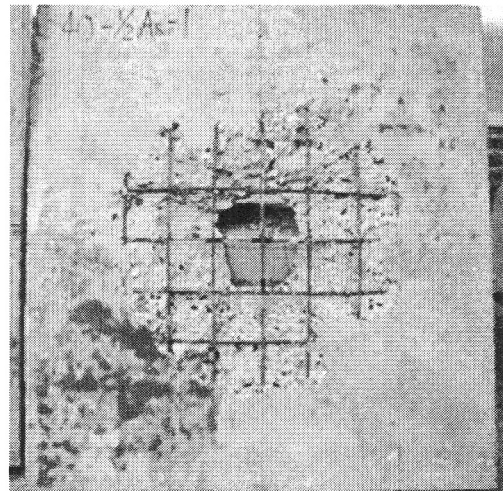


写真-6 床版のはく離破壊状況(40-1/2As-1)

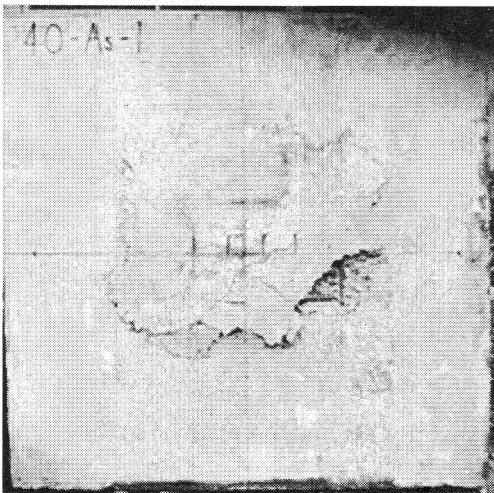


写真-7 床版のひび割れ状況(40-As-1)

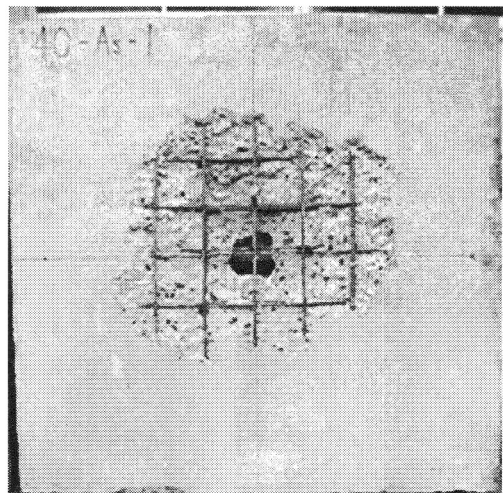


写真-8 床版のはく離破壊状況(40-As-1)

3.3 載荷荷重と中央たわみの関係

図-5 および図-6 に圧縮側鉄筋量の異なる床版の中央たわみと載荷荷重の関係を示す。最大粗骨材寸法 20mm および 40mm の供試体共に圧縮側鉄筋量の変化に伴う供試体のたわみと載荷荷重の関係における違いはほとんどみられなかった。このことから、圧縮側鉄筋量の差異は床版の剛性に影響を及ぼさないと考えられる。

図-7に粗骨材寸法の異なる床版の中央たわみと載荷荷重の関係を示す。ひび割れが発生し始めた載荷荷重 60kNまでの範囲では、粗骨材寸法にかかわらず同様の挙動を示している。一方、60kNを越えると骨材寸法 40mmの方が同一荷重におけるたわみが若干小さくなっている。このことから骨材寸法を大きくすることで床版

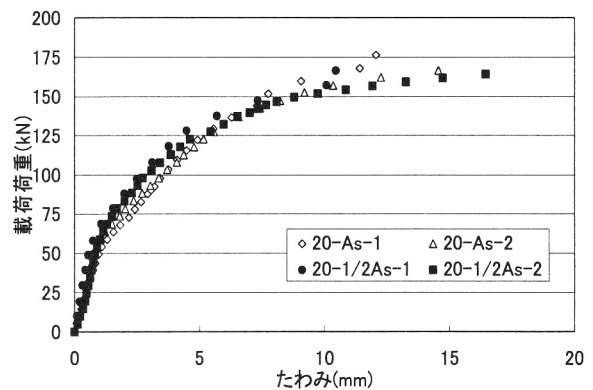


図-5 圧縮側鉄筋量の異なる床版たわみと荷重の関係 (G_{max}20mm)

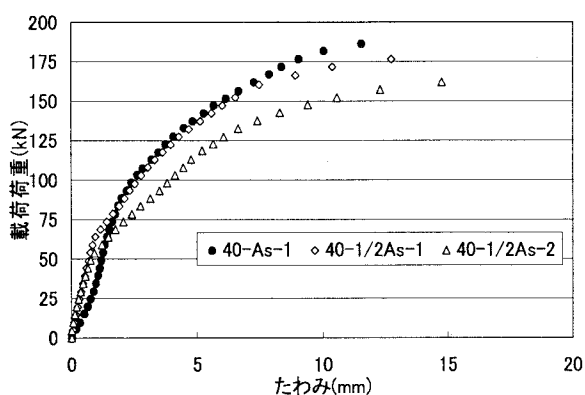


図-6 圧縮側鉄筋量の異なる床版たわみと荷重の関係
(G_{max} 40mm)

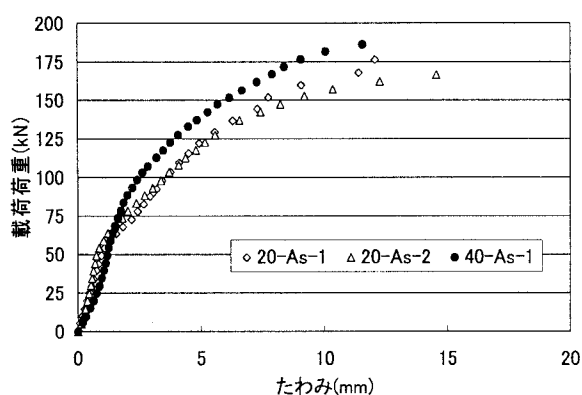


図-7 粗骨材寸法の異なる床版たわみと荷重の関係

剛性が高くなる可能性を考えられるが、供試体数が少ないため、今後実験数を増やして、この関係を明確にしたい。

4. 結論

RC 床版押抜きせん断の破壊機構は従来から数多くの研究が行われてきた。しかしながら、モーメント分布の複雑さ、力のつりあいが単純に求められないこと、弾性拘束による面内力の発生等の不明確さの為にまだ十分な解明がなされていないのが現状である。

本研究では、(I)圧縮側鉄筋量を変化させることにより RC 床版押抜きせん断強度に対する効果、および(II)最大粗骨材寸法を変化させることにより床版押抜きせん断強度における効果を調べる試験を行なった。(I)については圧縮側鉄筋量を引張側鉄筋量の半分にして作製した供試体 2 体と圧縮側鉄筋量を引張側鉄筋量と等しくして作製した供試体 2 体の計 4 体の供試体で試験を行い、(II)については一般に広く使われている最大粗骨材寸法

20mm と 40mm の骨材を用いて 2 種類の供試体を 2 体ずつ計 4 体作製し試験を行なった。以下に(I), (II)の場合に分けて検討した結論を示す。

(I)圧縮側鉄筋量の増加による影響について

- (1) 圧縮側鉄筋量を増加させることにより押抜きせん断強度が増加した。
- (2) 圧縮側鉄筋量の増加が床版の剛性に及ぼす顕著な影響はみられなかった。

(II)骨材寸法の変化による影響について

- (1) 同一鉄筋量を配置された床版における、床版の押抜きせん断強度が最大骨材寸法 20mm を使用した供試体と比較して最大骨材寸法 40mm を使用した供試体の方が大きくなる。

[参考文献]

- 1) 小柳 洽：鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断とその設計上の取扱い，コンクリート工学，Vol.19，No.8，1981。
- 2) Collins,M. P.：Library Congress Cataloging-Publication Data.
- 3) 岡田 清：最新コンクリート工学，Advanced Concrete Engineering，pp.124-136，1986。
- 4) 平岩 陸，谷川恭雄，森 博嗣，南部禎士：粗骨材の寸法および配置がコンクリート圧縮破壊挙動に及ぼす影響に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2. pp.541-546，1998。
- 5) Hewitt.B.E and Batchelor.B de V.：Punching Shear Strength of Restrained Slabs，Proc. of ASCE，Vol.101，No.ST9，pp.1837-1853，1975.9。
- 6) Criswll.M.E and Hawkins.N.M.：Shear Strength of Slabs，Basic Principle and their Relation to Current Methods of Analysis Shear in Reinforced Concrete，ACI SP-42，Vol.42，pp.641-676，1974。
- 7) Moe，J.：Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs and Footings under Concentrated Loads，Development Department Bulletin. D47，Portland Cement Association，1961.4。