

# 論文 発泡スチロール骨材を用いた軽量モルタル床版の押抜きせん断特性

松尾 栄治\*1・川崎 秀明\*2・高海 克彦\*3

**要旨:** 発泡スチロール廃材から作製した細骨材を用いた軽量モルタルは、単位体積質量に対するせん断強度が一般のコンクリートやモルタルと比較して大きいことから、せん断部材への適用において利点が期待できる。本研究ではこの軽量モルタルを母材とした面部材を作製し、静的押抜きせん断耐力を実験的に求めた。補強材には鉄筋および炭素繊維 FRP 格子筋を用い、補強材量を主な実験要因とした。また、種々の既往の算定式の適用性を照査した。その結果、単位体積質量に対する耐力の大きな面部材が作製可能であること、土木学会式や BS 式の算定精度が高いこと、さらに精度の良い実験要因の範囲があることなどを明らかにした。

**キーワード:** 発泡スチロール骨材, 軽量床版, 押抜きせん断

## 1. はじめに

筆者らは発泡スチロール (Expanded Polystyrene, 以下 EPS) の廃材から作製した EPS 細骨材に着目し、これを細骨材として使用した軽量モルタル (以下, EPS モルタル) について、基礎物性や断熱特性<sup>1)~2)</sup>などを明らかにしてきた。コンクリート部材の軽量化は、構造物のスリム化による様々な場面での経済性の向上、軟弱地盤上での構造物建造など、広範多岐なメリットが想定される。従来一般的な軽量骨材は吸水率が大きく、表乾状態の管理や、ポンプ圧送による過吸水や材料分離などの製造・施工上の問題、降雨時の吸水による密度の不安定化などの硬化後の問題など、課題も多い。本研究で用いる EPS 細骨材は吸水率がほぼゼロであることが大きな利点である。また、産業廃棄物を有効利用しているため、循環型社会の構築にも貢献が可能である。軽量性と断熱性を同時に応用した事例として、軽量プレスセメント瓦の作製を行うなど<sup>3)</sup>、将来的にもその活用性が期待される。

基礎物性に関する既往の研究結果の中で、圧縮強度に対するせん断強度の比率が大きいことが大きな特徴として挙げられる<sup>1)</sup>。すなわち、EPS モルタルをせん断部材へ適用することが可能となれば、比強度的に有利な構造物の作製につながる。そこで本研究では、道路橋床版、一般建築物の床部材や屋根部材などの面部材を対象として、その強度性状を確認した。すなわち、長さ 100~150cm、厚さ 7.5~10cm の正方形床版を、EPS モルタルを母材として、異形棒鋼および炭素繊維の格子状 FRP を補強材として作製し、それらの静的押抜きせん断耐力を実験的に求めた。また、その結果に及ぼす床版諸元の影響について検討するとともに、既往の算定式による強度評価を行うことを目的とした。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用材料

細骨材として用いた EPS 骨材は、一般ゴミとして回収された EPS 廃材に遠赤外線減容処理を施したものである。この処理により体積が約 1/20 に減少し、それに応じて密度は大きくなる。減容処理と同時に破碎処理も行っているため、表面は滑らかではなく凹凸が存在する。本研究では最大粒径が 4mm のものを使用した。密度は 0.51~0.53g/cm<sup>3</sup>、実積率は 3.95、吸水率は 0%、損失質量百分率は 0.55% である。セメントは普通ポルトランドセメント、練混ぜ水は上水道水を用いた。混和剤は AE 減水剤 (標準形 I 種) を用い、使用範囲内の最大量すなわちセメント質量の 2% とした。EPS モルタルの配合は、水セメント比が 35%、EPS 混入率 (=モルタル中に占める EPS 細骨材の体積比) が 50% の配合を基本とした。床版 No.1~2 は比較のために水セメント比と EPS 混入率を変化させた。

### 2.2 軽量床版の作製

表-1 に供試体の諸元を示す。全部で 18 体の EPS モルタル床版を作製した。寸法は出来る限り実構造物に近い寸法にしたいこと、試験機の載荷能力、既往の一般的な RC 床版の実験結果との比較ができること、製造設備の効率などを考慮し、100×100×10cm を基本の大きさとした。比較用に厚さを 7.5cm としたもの、1 辺を 150cm としたものも作製した。

補強材種類は異形棒鋼を用いた床版が 4 体 (No.1~4)、炭素繊維の格子状 FRP (引張強度 1,400N/mm<sup>2</sup>, 引張弾性率 100,000N/mm<sup>2</sup>) を用いた床版が 12 体 (No.5~12, No.15~18)、補強筋無し床版が 2 体 (No.13~14) とした。FRP 格子筋は技術資料などを参考に、定着性能が高いと判断できる材料を選択した<sup>4)</sup>。鉄筋の場合も FRP と同匹

\*1 九州産業大学 工学部都市基盤デザイン工学科准教授 博(工) (正会員)

\*2 (財)ダム技術センター ダム技術研究所首席研究員 博(工) (正会員)

\*3 山口大学 大学院理工学研究科准教授 工博 (正会員)

表－1 EPS床版の諸元

No.	床版の寸法 (cm)	載荷スパン (cm)	補強材諸元				EPSモルタル母材諸元				床版の単位体積質量 (t/m <sup>3</sup> )
			補強材種類	格子間隔 (cm)	補強材量A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	換算補強材比p' (%)	かぶり (mm)	W/C (%)	EPS混入率 (%)	AE減水剤使用量	
1	100×100×10	80	SD295A-D10	10×10	713.3	0.713	15	30	40	0	1.69
2	100×100×10	80	SD295A-D10	10×10	713.3	0.713	15	40	50	0	1.45
3	100×100×10	80	SD295A-D10	10×10	713.3	0.713	15	35	50	C×0.02	1.43
4	100×100×10	80	SD295A-D10	10×10	713.3	0.713	15	35	50	C×0.02	1.43
5	100×100×10	80	FRP-小	10×10	175.0	0.085	10	40	50	C×0.02	1.15
6	100×100×10	80	FRP-中	10×10	264.0	0.129	10	35	50	C×0.02	1.28
7	100×100×10	80	FRP-大	10×10	650.0	0.317	10	35	50	C×0.02	1.29
8	100×100×10	80	FRP-小	10×10	175.0	0.085	10	35	50	C×0.02	1.28
9	100×100×10	80	FRP-小	5×5	350.0	0.171	10	35	50	C×0.02	1.37
10	100×100×10	80	FRP-小	5×5	350.0	0.171	10	35	50	C×0.02	1.37
11	100×100×10	80	FRP-中	5×5	528.0	0.258	10	35	50	C×0.02	1.37
12	100×100×10	80	FRP-中	5×5	528.0	0.258	10	35	50	C×0.02	1.37
13	100×100×10	80	なし	—	0.0	0.0	—	35	50	C×0.02	1.35
14	100×100×10	80	なし	—	0.0	0.0	—	35	50	C×0.02	1.35
15	100×100×7.5	80	FRP-中	10×10	264.0	0.172	10	35	50	C×0.02	1.36
16	100×100×7.5	80	FRP-大	10×10	650.0	0.423	10	35	50	C×0.02	1.36
17	150×150×10	130	FRP-中	5×5	792.0	0.258	10	35	50	C×0.02	1.36
18	150×150×10	130	FRP-大	10×10	975.0	0.317	10	35	50	C×0.02	1.36

ツチかつ異形棒鋼による付着力確保により、定着性能が高いと判断した。補強材量は、異形棒鋼の場合は一定で、FRPの場合は格子のピッチおよび太さにより繊維量が異なる。FRP格子筋はかぶりを小さく、すなわち表層近くに配置できることが特徴の一つであり、本研究では鉄筋よりもかぶりを5mm薄くした。表－1中の床版の単位体積質量は実測が困難なため推定値を示している。

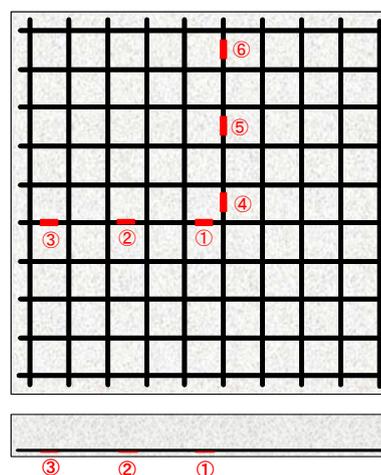
練混ぜは2軸強制ミキサーを用いて行い、2分間以上の十分な練混ぜ時間を確保した。フレッシュ状態および打設時にEPS細骨材の分離が生じていないことを目視で確認した。硬化後の床版には入念な散水による膜養生を施し、標準養生を施した材料強度測定用の供試体（円柱の場合はφ10×20cm、角柱の場合は4×4×16cm）に近い状態を再現した。試験材齢は28日以降とした。

図－1にEPS床版の概要を示す。FRPのかぶりは10mm、鉄筋のかぶりは15mmとした。鉄筋は2方向のため平均かぶりは25mmとなる。図－2に載荷条件を示す。浮上がり防止を設けない4辺単純支持とし、荷重は10×10cmの硬質ゴム板を介して床版の中央に載荷した。図－1に赤色で示す箇所の格子筋のひずみおよびその直上と直下のコンクリート表面のひずみを測定した。変位は床版の中央にて測定した。

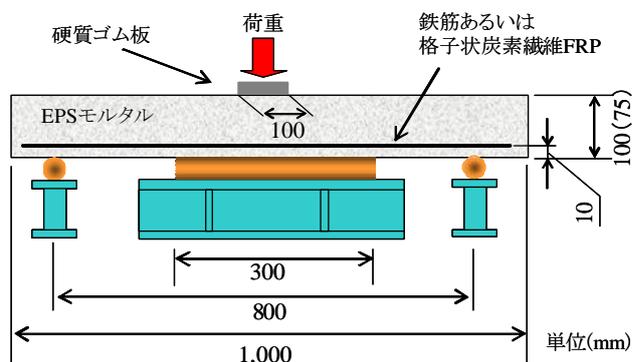
### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 押抜きせん断耐力

表－2に試験結果を示す。表中には普通コンクリートを用いた床版の事例も参考値のために比較して示す<sup>5)</sup>。これは母材が普通コンクリート（配合条件：W/C=55%，s/a=40%，G<sub>max</sub>=20mm，W=146kg/m<sup>3</sup>，C=430kg/m<sup>3</sup>，G=1158kg/m<sup>3</sup>，S=795kg/m<sup>3</sup>）であり、その他の諸元は今回の



図－1 EPS床版の概要（基本パターン）



図－2 床版への載荷例

EPSモルタル床版 No.1～4と同様である。No.6～8の円柱圧縮強度およびヤング係数が他と比較して小さい値を示しているが、円柱内部に欠陥があったこと（外観からは確認できず）が推察される。補強材を有する床版はい

表-2 試験結果一覧

床版 No.	材料強度(N/mm <sup>2</sup> )						破壊荷重 (kN)	破壊形態
	圧縮(円柱)	圧縮(角柱)	曲げ	2面せん断	割裂引張	ヤング係数		
1	23.6	33.8	6.78	12.3	2.69	—	139.2	押抜きせん断
2	17.2	26.4	5.27	8.84	1.98	5970	131.4	押抜きせん断
3	19.1	—	—	5.76	—	—	127.1	押抜きせん断
4							117.4	押抜きせん断
5	—	14.1	3.54	5.57	—	—	73.5	押抜きせん断
6	11.2	22.0	5.04	7.79	—	4762	94.7	押抜きせん断
7							100.0	押抜きせん断
8							95.6	押抜きせん断
9	17.6	25.9	5.16	8.90	2.13	6305	111.7	押抜きせん断
10							101.9	押抜きせん断
11							105.0	押抜きせん断
12							106.3	押抜きせん断
13	19.1	25.2	5.13	9.30	2.34	5317	21.6	曲げ
14							25.2	曲げ
15							70.7	押抜きせん断
16							74.1	押抜きせん断
17	22.9	27.4	4.47	8.96	2.20	7490	107.6	押抜きせん断
18	20.6	28.2	4.33	8.47	1.90	7357	119.6	押抜きせん断
参考	32.7	—	—	—	—	—	154.9	押抜きせん断



写真-1 破壊後のEPS床版の上面 (No. 6)



写真-2 破壊後のEPS床版の下面 (No. 6)

いずれも写真-1のような押抜きせん断破壊を示し、無補強床版 (No.13 および 14) のみが曲げ破壊を示した。曲

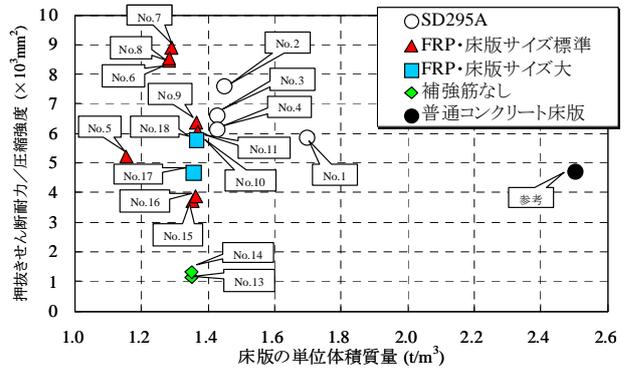


図-3 床版の重量と押抜きせん断耐力の関係

げ破壊荷重は平均値で 23.4kN であり、曲げひび割れの発生と同時に脆性破壊した。すなわちこれと同じ 10cm 厚さの床版においては、この荷重レベルで曲げひび割れが発生していることが予測される。また、補強材が多い場合は曲げ剛性も大きくなるため、これより少し大きい荷重レベルにおいて曲げひび割れが発生していると考えられる。実験中は床版の 4 側面 (10×100cm) において目視観察を行ったが、ほぼ前述の荷重レベルで 4 つの側面にひび割れが発生した。また、最大荷重に近づくにつれて曲げひび割れ幅は徐々に拡大し、最終的にはそれら側面のひび割れとは別の押抜きせん断破壊面 (写真-1 参照) の形成を伴う破壊が脆性的に生じた。

図-3 に床版の単位体積質量と比押抜きせん断耐力の関係を示す。横軸は床版の質量 (= 材料強度測定用供試体の密度×床版体積, 補強材の体積や密度も考慮) を床版体積で除した値である。縦軸は押抜きせん断耐力を円柱圧縮強度 (No.5 のみは角柱圧縮強度) で除した値であり、強度のバラツキの影響を除去したものである。普通

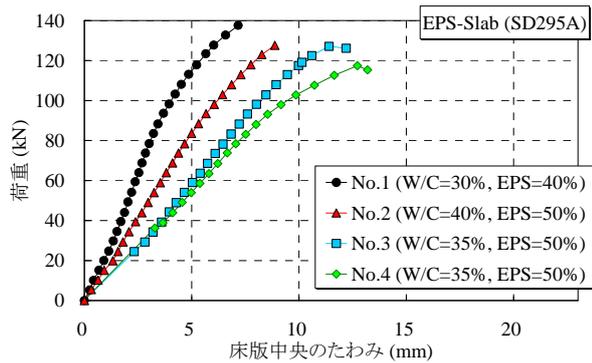


図-4 荷重-たわみ曲線 (その1)

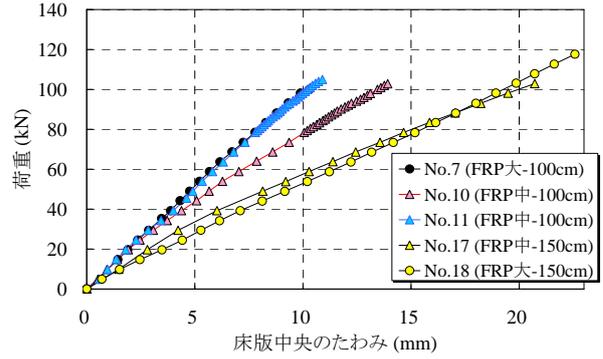


図-7 荷重-たわみ曲線 (その4)

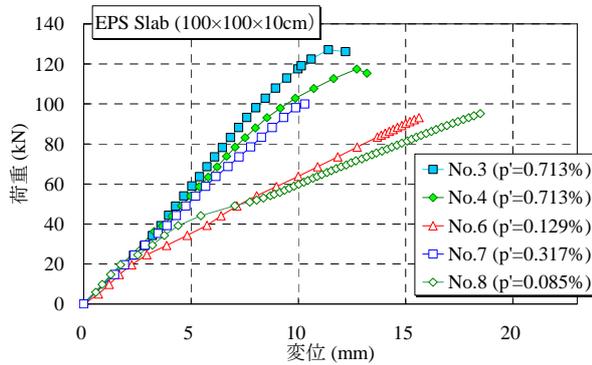


図-5 荷重-たわみ曲線 (その2)

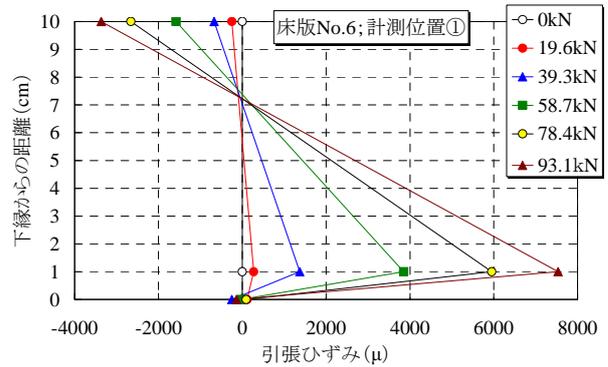


図-8 荷重の変化に伴うひずみ分布  
(床版No.6:FRP10cm)

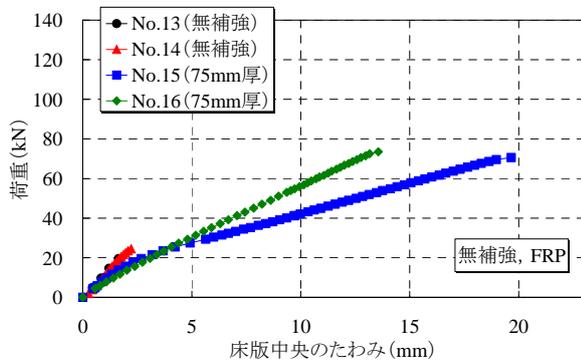


図-6 荷重-たわみ曲線 (その3)

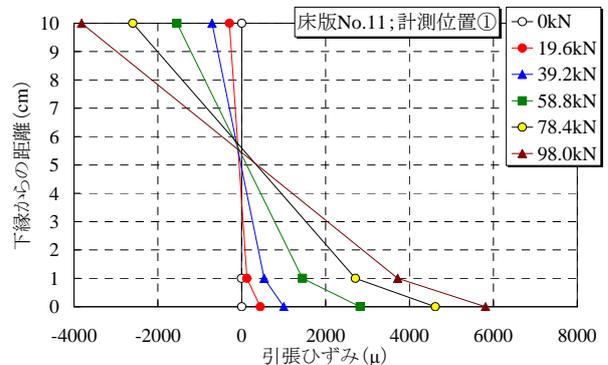


図-9 荷重の変化に伴うひずみ分布  
(床版No.11:FRP5cm)

コンクリート床版と比較してEPSモルタル床版は軽量かつ高強度の傾向にあることが確認できる。

### 3.2 たわみとひずみの挙動

図-4～7にEPS床版の荷重-たわみ曲線を示す。図-4はEPS床版の補強材に鉄筋を使用した場合で、EPSモルタルの配合のみが異なっている。当然ながら、EPS混入率が大きく水セメント比が大きい配合の床版の剛性が小さい結果となっている。

図-5はEPS床版の補強材に鉄筋およびFRPを使用した場合で、補強材種類および補強材量が異なっている。初期剛性には大きな違いはないものの、20～40kN付近で

はNo.6とNo.8には変曲点が生じて剛性が低下しており、換算補強材比の影響が生じているものと思われる。後述のように22～25kNが曲げひび割れ発生荷重であるため、それに伴って補強材への応力負担が増加したものと推察される。

図-6に補強材なしのEPS床版および厚さを75mmと薄くしたEPS床版の荷重-たわみ曲線を示す。無補強のNo.13と14は、破壊荷重についてはそれぞれ21.6kN、25.2kNとやや異なるものの、荷重-たわみ曲線はほぼ同

表-3 算定値一覧

No.	JSCE		AII		ACI		BS式		EC2式		CEB-FIP式		松井式		角田式		Gardner式	
	kN	実/計	kN	実/計	kN	実/計	kN	実/計	kN	実/計	kN	実/計	kN	実/計	kN	実/計	kN	実/計
1	97.8	1.424	346.4	0.402	100.8	1.380	122.9	1.133	53.2	2.618	184.4	0.755	163.2	0.853	119.2	1.168	117.9	1.180
2	83.5	1.575	273.3	0.481	86.1	1.526	110.6	1.189	43.1	3.051	166.0	0.792	144.8	0.907	110.1	1.193	183.1	0.718
3	87.9	1.445	295.0	0.431	90.7	1.401	114.5	1.110	46.2	2.752	171.9	0.739	151.1	0.841	113.0	1.125	189.6	0.670
4	87.9	1.335	295.0	0.398	90.7	1.294	114.5	1.025	46.2	2.542	171.9	0.683	151.1	0.777	113.0	1.039	189.6	0.619
5	—	—	299.4	0.245	84.8	0.867	58.0	1.266	40.0	1.839	—	—	56.9	1.291	132.4	0.555	215.5	0.341
6	47.6	1.991	418.7	0.226	75.5	1.253	77.2	1.226	34.8	2.719	81.3	1.164	61.3	1.544	161.9	0.585	228.9	0.414
7	64.2	1.557	418.7	0.239	75.5	1.323	104.3	0.959	37.2	2.688	109.8	0.910	89.4	1.118	318.6	0.314	309.1	0.323
8	41.5	2.304	418.7	0.228	75.5	1.265	67.3	1.419	34.3	2.788	70.9	1.348	52.1	1.836	125.7	0.760	199.6	0.479
9	65.5	1.706	478.4	0.234	94.7	1.180	89.6	1.247	47.8	2.338	103.8	1.076	80.8	1.382	210.7	0.530	292.4	0.382
10	65.5	1.556	478.4	0.213	94.7	1.076	89.6	1.138	47.8	2.133	103.8	0.981	80.8	1.261	210.7	0.484	292.4	0.349
11	75.1	1.397	478.4	0.219	94.7	1.108	102.7	1.022	49.3	2.131	119.1	0.881	95.9	1.095	282.9	0.371	335.3	0.313
12	75.1	1.416	478.4	0.222	94.7	1.123	102.7	1.035	49.3	2.159	119.1	0.893	95.9	1.109	282.9	0.376	335.3	0.317
13	—	—	581.0	0.037	115.4	0.187	—	—	56.5	0.381	—	—	—	—	82.5	0.261	—	—
14	—	—	581.0	0.043	115.4	0.218	—	—	56.5	0.445	—	—	—	—	82.5	0.305	—	—
15	41.8	1.688	319.5	0.221	61.9	1.142	56.2	1.256	29.6	2.386	70.9	0.997	59.4	1.190	141.0	0.501	206.9	0.342
16	56.5	1.311	319.5	0.232	61.9	1.197	75.9	0.976	32.4	2.290	95.7	0.774	83.2	0.891	280.1	0.265	279.4	0.265
17	85.7	1.256	481.6	0.223	108.0	0.996	104.7	1.028	58.7	1.833	130.0	0.828	103.6	1.039	292.6	0.368	366.1	0.294
18	87.1	1.373	455.3	0.263	102.4	1.167	113.3	1.056	55.8	2.142	134.5	0.889	109.8	1.089	338.1	0.354	378.7	0.316
平均値	—	1.556	—	0.280	—	1.206	—	1.130	—	2.401	—	0.914	—	1.139	—	0.624	—	0.458
標準偏差	—	0.280	—	0.091	—	0.163	—	0.128	—	0.353	—	0.178	—	0.281	—	0.327	—	0.238
変動係数	—	0.180	—	0.324	—	0.135	—	0.113	—	0.147	—	0.194	—	0.246	—	0.523	—	0.521

一のラインとなり剛性は等しい。破壊形態はこの2体のみが曲げ破壊であり、ひび割れの発生と同時に破壊に至った。すなわちこの荷重レベルで他の床版にも曲げひび割れが生じているものと思われる。床版厚が薄い No.15 および No.16 については載荷初期段階から剛性から小さい結果となった。

図-7に床版1辺のサイズのみが異なる床版を比較して示す。床版1辺が150cmの場合は載荷スパンが大きくなるために剛性が低下している。

床版中央に最も近い点におけるひずみ挙動により全供試体で平面保持を確認した。図-8はその一例として床版 No.6 の場合のひずみ分布を示している。上面と補強材位置および下面のひずみを荷重ごとに結んでいるが、下縁では早い段階から直線分布から外れており、ひずみゲージの近傍にひび割れが生じたものと推察される。床版 No.6 に対して FRP のメッシュ間隔が半分すなわち補強材比が2倍の床版 No.11 の場合を図-9に示す。補強材比に応じてひずみが小さくなっていることが確認できる。

#### 4. 押抜きせん断耐力の算定および評価

##### 4.1 算定式

本床版の押抜きせん断耐力を求める算定式として、既往の土木学会式<sup>6)</sup>、日本建築学会式<sup>7)</sup>、ACI式<sup>8)</sup>、Euro Code式<sup>9)</sup>、BS式<sup>10)</sup>、CEB-FIP式<sup>11)</sup>、角田式<sup>12)</sup>、松井式<sup>13)</sup>、Gardner式<sup>14)</sup>を用いた。算定結果の一覧を表-3に示す。式によっては補強筋を使用しない場合は算定できない場合がある。また、算定式の中には材料強度としてのせん断強度、角柱圧縮強度、ヤング係数などが必要な場合もあり、これらを円柱圧縮強度から換算する式を包有している場合もある。これらは一般的なコンクリートの場合

の換算式であるため、直接実験で求めた値を入力するか、実験値がない場合には EPS モルタルによる換算式(1)~(3)などにより修正して求めた。これは本研究と一連に行った材料試験の結果<sup>15)</sup>から独自に求めた関係式であり、図-10を基にしている。将来的にデータ数の蓄積に応じてこれらの式を更新すれば、その使用範囲と精度も高くなると考えられる。

$$\tau_{s-max} = 0.274\sigma_{ck1} + 1.84 \quad (1)$$

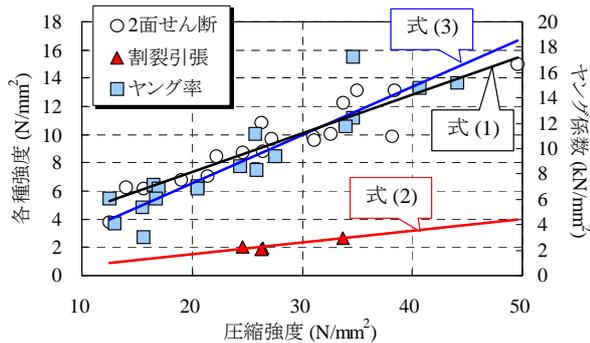
$$\sigma_{t-max} = 0.0837\sigma_{ck1} - 0.175 \quad (2)$$

$$E_{EPSM} = 0.3804\sigma_{ck2} - 0.306 \quad (3)$$

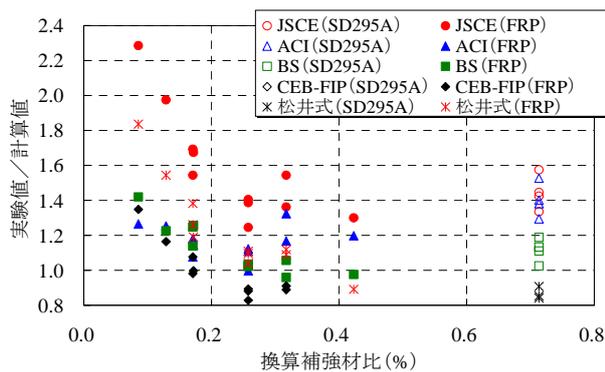
ここに、

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{s-max} : \text{最大せん断応力度 (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{t-max} : \text{最大引張応力度 (N/mm}^2\text{)} \\ E_{EPSM} : \text{EPS モルタルのヤング係数 (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{ck1} : \text{EPS モルタルの角柱圧縮強度 (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{ck2} : \text{EPS モルタルの円柱圧縮強度 (N/mm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

さらに、部材安全係数的な役割を持つ係数が経験的に式全体に乗じてある場合もあるが、ここではそれらの係数はすべて1として算出した。この係数を実験データの蓄積状況に応じて適宜変更することで式の適合性が改善できる。本研究のような特殊床版に適用するには、一時的に係数を1として各式の適合性を検証すべきと考えたためである。表-3に計算値に対する実験値の割合(統計処理では無筋床版の No.13~14 は除いた)を示す。この値の平均値が1に近いほど式の適合性が高いとみなせば、ACI式、BS式、CEB-FIP式、松井式が該当し、これ



図一 1 0 圧縮強度と各種強度・ヤング係数の関係



図一 1 1 換算補強材比と「実験値/計算値」の関係

らは EPS モルタル床版においても使用可能と判断できる。適合性については前述のように部材安全係数を設定することにより 1 に近づけることが可能である。

精度については変動係数により評価すべきであり、BS 式の場合が最も小さく精度がよい。なお、平均値が 1 より小さく危険側の値を示している場合は実用に際しては適切な部材安全係数の設定が不可欠である。

図一 1 1 に補強材比と「実験値/計算値」の関係を示す。ここでは平均の適合性の高い式すなわち「実験値/計算値」が 1 に近い 5 つの式を対象としている。なお、FRP の補強材量には鉄筋とのヤング係数比を乗じて換算している。換算補強材比が 0.2% 以下の場合に「実験値/計算値」が大きくなるケースすなわち過剰設計の傾向がある。また FRP 補強のみに着目すると、補強材比が大きくなるにつれて適合性がよくなる傾向がみられる。

## 5. 結論

本研究で得られた主な結論は下記の通りである。

- (1) EPS モルタルを床版の母材として用いた場合、比耐力の大きい面部材が作製できることから、せん断強度が大きいという材料特性を活用できることを確認した。
- (2) EPS モルタル床版の押抜きせん断耐力は、松井式や海外の規準的な式により適合性の高い理論値が算出可能で、特に FRP 補強の場合は補強材比が大きいほど適合性が

よくなる傾向がある。

## 参考文献

- 1) 松尾栄治, 玉滝浩司, 保井 渉: 発泡スチロール廃材を細骨材代替とした超軽量モルタルの材料分離性状および強度特性, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.3, pp.358-367, 2007.
- 2) 松尾栄治, 保井 渉: 発泡スチロール廃材から作製した細骨材を用いた超軽量モルタルの熱的性質: 土木学会論文集 E, Vol.65, No.2, pp.249-258, 2009.
- 3) 黒田道治, 松尾栄治, 東島芳樹, 高海克彦: 発泡スチロールリサイクル細骨材を用いた軽量プレセメント瓦の開発, 第 61 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集 V-22, 2009.
- 4) ACC 倶楽部: 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物設計・施工マニュアル (案), ACC 倶楽部技術委員会, 2003.
- 5) 浜田純夫, 松尾栄治, 藤岡 靖: 実験結果に基づく RC 床版の押抜きせん断強度算定式の安全係数, 土木学会論文集 No.676, pp.51-63, 2001.
- 6) 土木学会: コンクリート標準示方書設計編, p.141, 2007.
- 7) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 1991.
- 8) ACI Committee 318: Building Code requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, 1983.
- 9) Euro Code 2, Design of Concrete Structures Part 1, General Rules and Rules for Buildings (ENV 1992-1-1), 1991.
- 10) BS 8110-85, Structural Use of Concrete, British Standards Institute, London, 1985.
- 11) Comite Euro-Internation l du Beton: CEB-FIP Model Code 1990, CEB Bulletin d'Information, No.213/214, Lausanne, Switzerland, May 1993.
- 12) 角田与史雄, 井藤昭夫, 藤田嘉夫: 鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集 No.229, pp.105-115, 1974.
- 13) 前田幸雄, 松井繁之: 鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力の評価式, 土木学会論文集 No.348, V-1, pp.133-141, 1984.
- 14) Gardner, N. J. and Shao, X.: Punching Shear of Continuous Flat Reinforced Concrete Slabs, ACI Structural Journal / March-April, pp.241-250, 1988.
- 15) 黒田道治, 発泡スチロール廃材を細骨材とした軽量モルタルの実用化に関する研究, 山口大学修士論文, 2010.