

〈一般研究課題〉 高摩擦・排水性を持つリサイクル材と  
繊維補強材を併用した災害に強い街づくり  
助成研究者 名古屋工業大学 森河 由紀弘



## 高摩擦・排水性を持つリサイクル材と 繊維補強材を併用した災害に強い街づくり

森河 由紀弘  
(名古屋工業大学)

### Study on disaster resilient urban development using recycling materials with high friction and drainage and geosynthetics

Yukihiro MORIKAWA  
(Nagoya Institute of Technology)

#### Abstract :

From 1973 to 1995, the production of roof tile reached its peak, and about 1.65 billion pieces of clay roof tile (about 4.5 billion tons) were produced every year in Japan. Since the life span of clay roof tile is about 60 years, a large amount of discarded roof tile will be generated every year in the near future. In addition, Aichi Prefecture is the largest producer of clay roof tile in Japan, and in recent years 200 million pieces of clay roof tile have been produced annually, of which about 7% (about 40,000 tons) of defective roof tile have cracks and other defects. Therefore, it is important to recycle these waste roof tile. Previous studies have shown that crushed roof tile (CRT) is environmentally friendly geomaterial with high frictionality, high permeability and light weight, and effective utilization of that is expected. In this study, the bearing capacity, horizontal earth pressure, and stress level of the buried pipe, were investigated by laboratory model tests and a full-scale field tests using CRT and generally sandy materials. In this study, the effect of geosynthetics on the reinforcement of bearing capacity and horizontal earth pressure was also investigated. As a result of the study, it was found that the horizontal earth pressure and the increment of that due to vertical load of CRT ground are smaller than those of general sandy materials. In addition, the bearing capacity of CRT was higher than that of general sandy materials reinforced with geosynthetics, that was furthermore increased by the use of geosynthetics, and the

increment of horizontal earth pressure due to vertical load was reduced by geosynthetics at shallow depths. The stress in the buried pipe due to vertical loading were a slight when the ratio of the inner diameter to the earth cover thickness was more than 3 times, whether the that was backfilled with CRT or general sand.

## 1. はじめに

粘土瓦は江戸時代後期あたりから火災対策の一つとして日本住宅の屋根材として普及が始まり、図1に示すように高度経済成長期以降の1973年～1995年には生産量はピークとなり、日本全国で毎年約16.5億枚の粘土瓦(約45億トン)が生産されてきた<sup>1)</sup>。しかし、粘土瓦の寿命は約60年であるため、近い将来に大量の廃棄瓦が発生する。また、愛知県は粘土瓦の生産量が日本一であり、近年では毎年2億枚の粘土瓦が生産され、そのうちヒビなどが入った不良品の規格外瓦が約7%(約4万トン)発生する。そのため、新品の不良品瓦や葺き替え時に発生する廃棄瓦のリサイクルは重要である。ここで、既往研究<sup>2)~4)</sup>により、規格外瓦を20 mm以下に砕いた破碎瓦の粒子形状は尖っており、高い摩擦性や透水性、軽量性を持った環境にやさしいリサイクル地盤材料であることが明らかになっており、その有効利用方法の確立が期待されている。そこで、本研究では破碎瓦や一般的な砂質土を用いた室内模型試験や実物大現場試験を行い、それぞれの材料を埋戻し材として単体で用いた場合、またジオシンセティクスを併用した場合における支持力や水平土圧、埋設管の応力度などについて検討を行い、破碎瓦の擁壁や埋設物の埋戻し材としての性能を評価した。

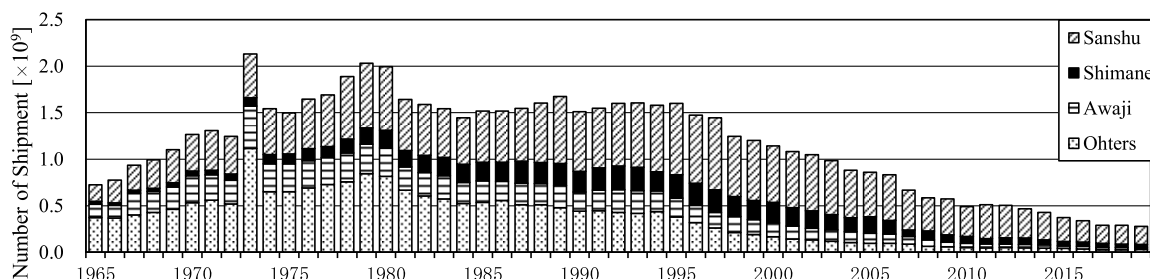


図1. 粘土瓦の出荷枚数

## 2. 使用材料

本検討で用いた破碎瓦は、粒度分布や供給量の面で安定供給が期待できる愛知県陶器瓦工業組合のシャモット<sup>5)</sup>であり、室内模型試験では砂分が主体となる破碎瓦(0-5 mm)と豊浦砂を使用した。また、実物大の現場試験では、礫分が主体となる破碎瓦(0-20 mm)と実際の施工現場でよく用いられている砂質土系埋戻し材の山砂を用いた。表1に本検討で用いた試料の土質試験結果を示し、図2に粒度分布を示す。土質試験結果から、破碎瓦(0-5 mm, 0-20 mm)および山砂の均等係数は10を超えていることから、これらの試料は単粒径である豊浦砂よりも粒度分布が良い地盤材料であることが分かる。また、破碎瓦の粒子形状は角張っているため、内部摩擦角や地耐力を表す平均CBRが高く、特に実際の施工現場においての使用が想定される破碎瓦(0-20 mm)の液状化強度比は $R_{L20} = 0.58$ であり、豊浦砂の液状化強度比( $R_{L20} = 0.21$ )<sup>6)</sup>に比べてもかなり高いことが分かる。ここで、破碎瓦(0-20 mm)の最適含水比は一般的な砂質系埋戻し材である山砂とほぼ同等であるが、最大乾

乾燥密度は1割以上も軽量であり、透水係数も比較的高いと言える。また、本検討では地盤支持力の補強を目的としたジオシンセティクス(以下、補強材)として、室内模型試験では前田工織(株)製のCS-50(厚さ2.5 mm, 引張強度50 kN/m)を使用し、実物大の現場試験ではCS-100(厚さ2.5 mm, 引張強度100 kN/m)を使用した。

表1. 使用材料の土質試験結果

項目			破碎瓦 (Crushed roof tile)		豊浦砂 (Toyoura Sand)	山砂 (Pit sand)
			0-5 mm	0-20 mm		
土粒子密度試験	土粒子の密度	$\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.579		2.649	2.641
土の粒度試験	礫分(2-75mm)	%	36.5	76.4	0	12.7
	砂分(0.075-2mm)	%	50.6	18.1	99.9	75.6
	シルト分(0.005-0.075mm)	%	11.6	3.5	0.1	4.1
	粘土分(0.005mm未満)	%	1.3	2.0	0.0	7.6
	最大粒径	mm	9.5	26.5	0.425	26.5
	均等係数	$U_c$	34.9	43.2	1.6	16.9
	50%粒径	$D_{50}$ mm	1.184	9.059	0.173	0.532
	20%粒径	$D_{20}$ mm	0.169	1.363	0.128	0.2058
土の液性限界・ 塑性限界試験	液性限界	$w_L$ %	NP	NP	NP	NP
	塑性限界	$w_P$ %	NP	NP	NP	NP
	塑性指数	$I_p$	NP	NP	NP	NP
締固め試験 (E-b 法)	最大乾燥密度	$\rho_{d\max}$ g/cm <sup>3</sup>	1.654	1.663	—	1.871
	最適含水比	$w_{opt}$ %	17.8	13.9	—	11.9
CBR 試験	膨張比	$r_e$ %	0.069	0.000	—	0.004
	平均 CBR	%	34.1	81.1	—	35.8
	90%CBR	%	30.0	32.7	—	—
	95%CBR	%	69.7	89.5	—	—
三軸圧縮試験 (CD 試験)	粘着力	$C_{cd}$ kN/m <sup>2</sup>	11	55	6	11
	内部摩擦角	$\phi_{cd}$ °	44.0	44.6	39.1	37.2
繰返し三軸試験	繰返し強さ応力比	$R_{L20}(DA=5\%)$	—	0.58	0.21 <sup>6)</sup>	—
透水試験	透水係数	$k_{15}$ m/s	$1.59 \times 10^{-5}$	$9.15 \times 10^{-5}$	$1.29 \times 10^{-4}$	$3.56 \times 10^{-5}$
最少密度・ 最大密度試験	最小密度	$\rho_{d\min}$ g/cm <sup>3</sup>	1.204	1.259	1.368	—
	最大密度	$\rho_{d\max}$ g/cm <sup>3</sup>	1.583	1.601	1.642	—
すりへり試験	すりへり減量	%	29.5	28.4	—	—

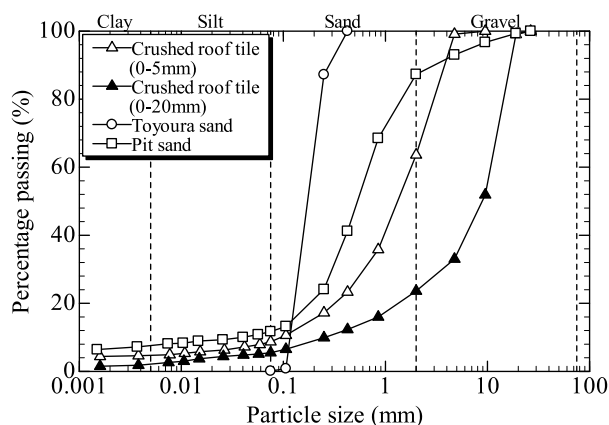
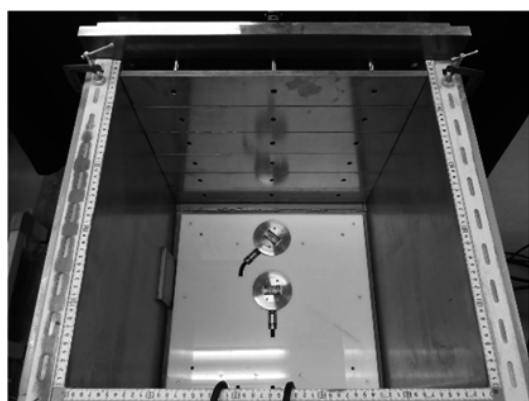
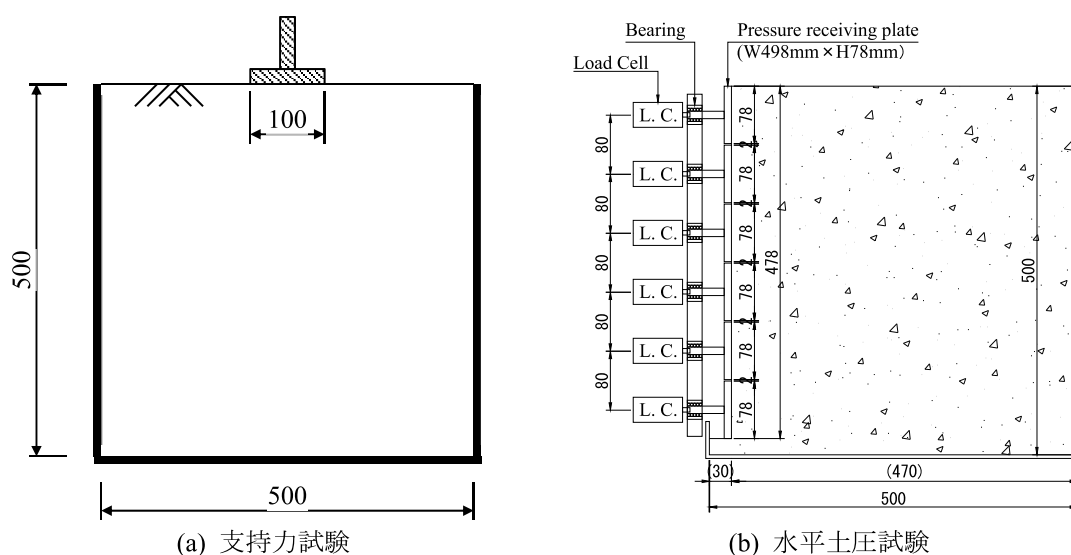


図2. 粒度分布

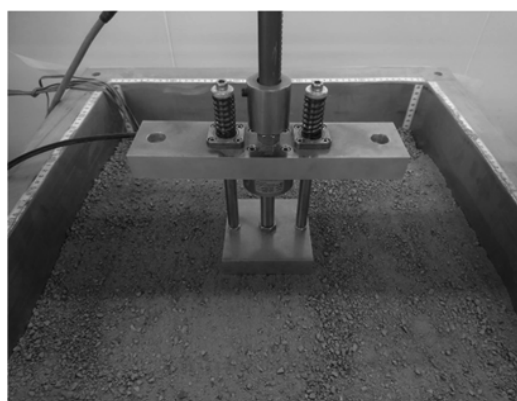
### 3. 試験方法

#### 3.1 室内模型試験

図3に水平土圧および支持力試験の概要図を示し、表2に共通の試験条件を示す。本検討では、幅498 mm×高さ78 mm×6枚の水平土圧計測板を設置した幅500 mm×奥行500 mm×高さ500 mmの剛土槽を用いて検討を行った。本装置は、水平土圧の計測壁面を水平移動したり下端部を中心に回転したりして、主働土圧を再現することも可能であるが、本検討では計測壁面は固定した条件で検討を行った。地盤材料には、乾燥状態の豊浦砂および破碎瓦(0-5mm)を用いて、相対密度は70%、層厚は500 mmとした。支持力载荷試験では、土層地表面の中心部に設置した100 mm×100 mmの剛な正方形载荷板に载荷ロッドを剛結し、モーターによって約8 mm/minの速度で変位制御による静的な载荷を行った。また、水平土圧測定試験では、後述する実物大の現場試験と同様に、まずは補強材を敷設せずに土層を作成して無負荷の状態です圧を計測(Step 1)、次に鋼製の分銅を用いて地表面全体に上載荷重10 kPaを载荷した状態で計測(Step 2)、上載荷重の撤去(Step 3)、表土を10 mm除去した後に補強材を敷設(Step 4)、再埋戻し後に無負荷で計測(Step 5)、最後に上載荷重10 kPaを载荷した状態で計測(Step 6)の順で検討を行った。



(c) 水平土圧計測装置付き実験土槽



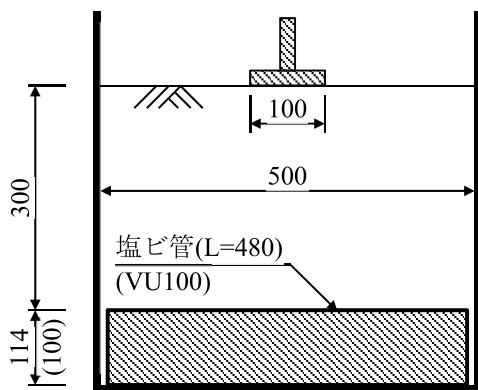
(d) 载荷装置

図3. 試験概要図(室内模型試験：水平土圧試験および支持力試験)

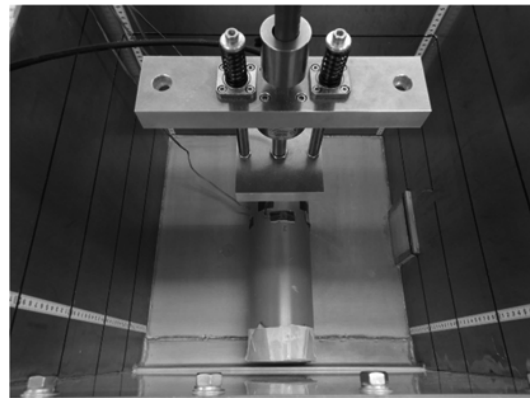
表2. 試験条件(室内模型試験：水平土圧試験および支持力試験)

ケース	埋戻し材 (乾燥)	相対密度 $D_r$ (%)	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	層厚 (mm)	繊維補強材 (CS-50)深度
Case T	豊浦砂	70	1.542	500	—
Case T-G					G.L.-10 mm
Case C5	破碎瓦 (0-5mm)	70	1.447	500	—
Case C5-G					G.L.-10 mm

図4に埋設管載荷試験の概要図を示し、表3に試験条件を示す。本検討においても、地盤条件や試験装置は上述した水平土圧および支持力試験と同様である。ここで、下水管の最小土被り厚さについて、日本下水道協会・設計指針<sup>7)</sup>では「本線では1.0 m、枝線では車道部で0.6m、歩道部では0.5m」と規定されており、一方で名古屋市の工事共通仕様書<sup>8)</sup>では「口径300 mm以下の埋設管の場合、施設構内等で重量物の圧力を受けるおそれのある場所では1.0 m以上、車両道路では0.6 m以上、それ以外の場所では0.3 m以上」と規定されている。ここで、実際に使用されている下水管の口径を200 mmと仮定した場合、最小土被り厚さと下水管口径との比は車道部では0.3(0.6 m)程度、本線では0.5(1.0 m)程度となる。そこで、本検討では内径が100 mmで長さが480 mmの薄肉塩ビ管(VU100)を模型埋設管として用いて、土被り厚さは模型埋設管にとって厳しい条件となる300 mm、土被り厚さ比は3.0とした。また、管中心部には上下左右の4か所にひずみゲージが張り付けられており、前述した支持力試験と同じ載荷装置を用いて管中心部直上の地表面に載荷を行い、地盤支持力や埋設管の曲げひずみを計測した。



(a)試験概要図



(b) 模型埋設管設置状況

図4. 試験概要図(室内模型試験：埋設管載荷試験)

表3. 試験条件(室内模型試験：埋設管載荷試験)

ケース	埋戻し材 (乾燥)	相対密度 $D_r$ (%)	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	土被り厚さ (mm)	繊維補強材 (CS-50)深度
Case T-4.0	豊浦砂	70	1.542	300	—
Case T-4.0G					G.L.-10 mm
Case C5-4.0	破碎瓦 (0-5mm)	70	1.447	300	—
Case C5-4.0G					G.L.-10 mm

### 3.2 実物大の現場試験

図5、図6に試験概要図および試験状況を示し、表4に試験条件を示す。本検討では、実物大の現場試験を想定しているため、幅5.0 m×奥行5.0 m×高さ2.0 mのコンクリート製の大型土槽を用いて検討を行った。大型土槽には鉛直土圧計が土槽底板の中央部から500 mmの間隔で5か所、水平土圧計が土槽壁面上端より250 mmの深度から500 mmの間隔で4か所、それぞれ底板および壁面と土圧計がフラットになるように埋め込まれている。埋戻し材には、破砕瓦(0-20mm)および一般的な砂質土系埋戻し材である山砂を用いて、振動プレートコンパクタにより締固め度が90 %以上となるように十分に締固めた。埋設管には実際に下水管などで使用されている内径が200 mmで長さが2.0 mの薄肉塩ビ管(VU200)を用いており、無補強用と補強材敷設時用の2本を同時に埋戻した。また、本検討においても室内模型試験と同様に、まずは補強材を敷設せずに実験土層を完成させて、無負荷状態で初期水平土圧を計測し(Step 1)、続いて直径が約1.1mで重量が約9.8 kNの大型土嚢を用いて10 kPaの上載荷重を載荷した状態の水平土圧を計測した(Step 2)。次に、荷重分散を検討するために大型土嚢を撤去し、地表面の中心から鉛直土圧計から離れる方向に500 mmの間隔で幅200 mm×奥行200 mm×高さ100 mm×5段のコンクリートブロックを順番に設置し、その上に総重量が5.4 kN(135 kPa)となるように大型土嚢を静置した(Step 3)。最後に、上載荷重が載荷された状態における埋設管に作用する鉛直土圧や埋設管の応力度、支持力を検討するため、直径が300 mmの平板載荷試験機を用いて、ひずみゲージを張り付けた埋設管の中心や中心から500 mmの位置に設置した鉛直土圧計の直上(深度：1.0m)、埋設管のない位置において載荷試験を行った(Step 4)。そして、一連の試験が終了した後、表土を100 mm除去して補強材を敷設し、表層部の再埋戻しをしてから再び同様の載荷試験を行った。

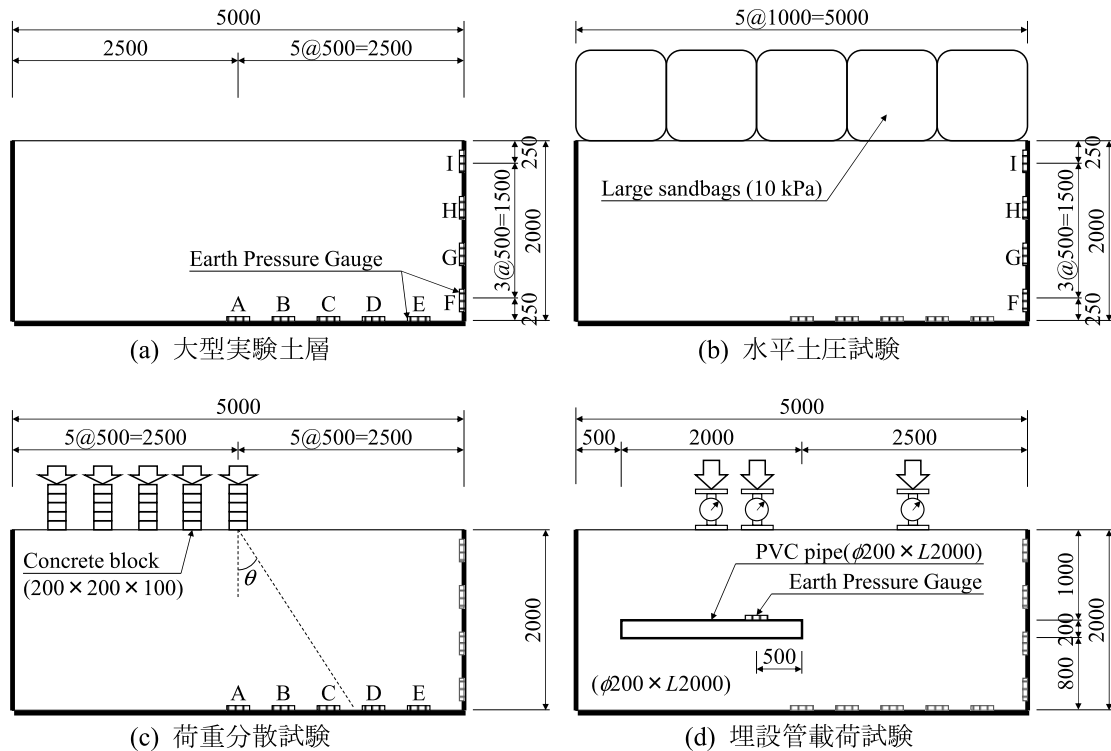
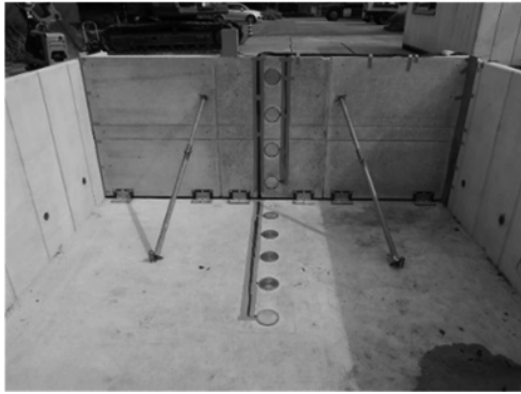


図5. 試験概要図(実物大現場試験)



(a) 大型実験土槽



(b) 埋設管設置状況



(c) ジオシンセティクス敷設状況



(d) 載荷状況

図6. 試験状況(実物大現場試験)

表4. 試験条件(実物大現場試験)

ケース	埋戻し材 (湿潤)	締固め度 $D_r$ (%)	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	繊維補強材 (CS-100)深度
Case P	山砂	92.1	1.914	1.723	—
Case P-G					G.L.-100 mm
Case C20	破碎瓦 (0-20mm)	95.6	1.728	1.590	—
Case C20-G					G.L.-100 mm

#### 4. 実験結果

##### 4.1 室内模型試験

###### (1) 水平土圧試験

図7に水平土圧分布を示す。無負荷状態において、破碎瓦の水平土圧は豊浦砂を大きく下回り、最大で豊浦砂の約7割減、平均でも約5割減である。上載荷重を載荷した場合には両者の差は中間深度では小さくなる傾向にあるが、浅層部や深部を含め全体的には破碎瓦の方が小さい傾向が確認できる。これは、同じ相対密度でも破碎瓦の地盤密度は豊浦砂よりも小さく、さらに内部摩擦角や自立性が高いためだと考えられる。また、補強材の有無に関わらずほぼ同様の結果であることから、10 kPa程度の上載荷重の範囲では補強材が水平土圧に与える影響は大きくないと考えられる。

以上の結果より、今回の検討は限定的な条件ではあるものの、破碎瓦地盤の水平土圧は一般的な砂質土よりも小さく、また10 kPa程度の上載荷重では補強材による影響は少ないことが分かった。

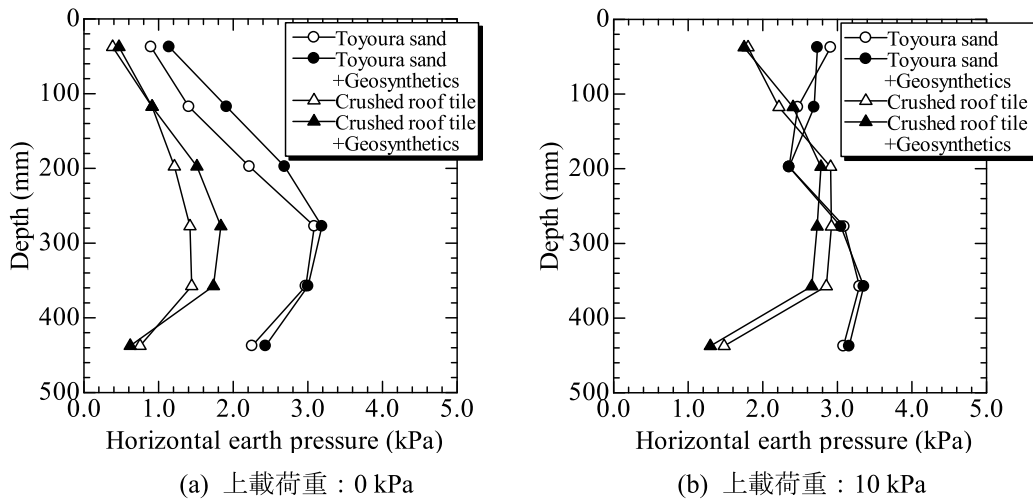


図7. 水平土圧分布(室内模型試験: 水平土圧試験)

## (2) 支持力試験

図8に地盤支持力および鉛直土圧増分を示す。無補強の状態と比較すると、破碎瓦の極限支持力は豊浦砂の2.5倍以上も高いことがわかる。ここで、豊浦砂に補強材を敷設することで極限支持力は約1.6倍に増加しているが、無補強の破碎瓦は補強された豊浦砂の約1.5倍である。また、装置の都合により極限支持力は計測できていないが、破碎瓦に補強材を敷設することにより極限支持力はさらに大幅に増加していることが分かる。地表面の載荷荷重に対する土層下部(深度500mm)の鉛直土圧の増分については、補強材を敷設した場合には若干ではあるが小さくなる傾向にあった。

図9に上載荷重に伴う水平土圧増加量を示す。地表面において比較的大きな鉛直荷重を載荷した場合、深度がある程度深くなれば補強材による影響は小さくなるが、載荷位置に近い浅層部では補強材によって水平土圧の増加量が小さくなることが分かった。これは、補強材に緊張力が作用し、広範囲の地盤で上載荷重を支えたためだと考えられ、破碎瓦の方がその傾向は顕著であった。

以上により、内部摩擦角の高い破碎瓦の極限支持力は豊浦砂よりも高く、両者共に補強材により支持力はさらに大きく増加し、浅層部では水平土圧増分が小さくなる傾向が確認できた。

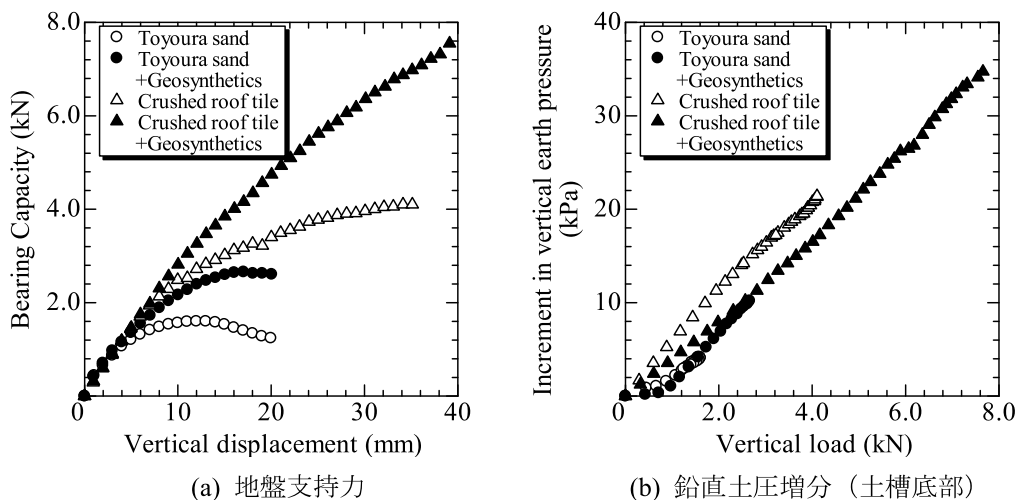


図8. 地盤支持力および鉛直土圧増分(室内模型試験: 支持力試験)



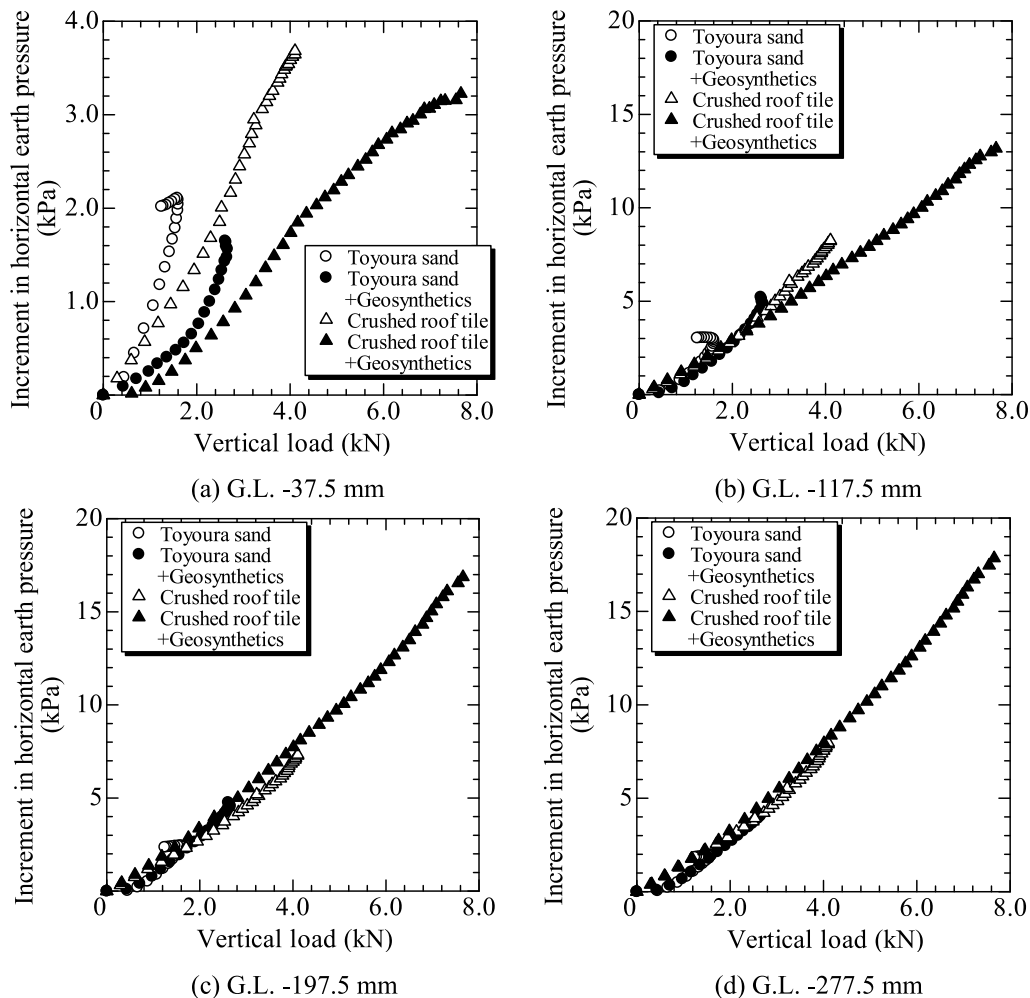


図9. 水平土圧増分(室内模型試験: 支持力試験)

### (3) 埋設管載荷試験

図10に埋設管の曲げ応力度を示す。本検討においては、破碎瓦で埋め戻した模型埋設管の初期応力度が若干大きくなる傾向にあった。これは、本検討は室内模型試験であり小サイズの塩ビ管を使用したため剛性が小さく、破碎瓦の内部摩擦角が豊浦砂よりも大きいことから破碎瓦と埋設管との摩擦力が豊浦砂よりも大きくなり、埋め戻し時の影響を受けやすかったことなどが考えられる。しかし、埋設管の初期応力は許容応力度に比べるとかなり小さく、後述する破碎瓦や山砂を用いた実物大試験においても両者の初期応力に大きな差は無かったため、大きな問題はないと考えられる。載荷試験の結果、無補強状態の豊浦砂では、0.1 m×0.1 mの載荷板に対して約140 kPaで最大荷重強さとなりそれ以上の載荷をすることはできなかったが、最大荷重強さの高い破碎瓦では330 kPaまで上載荷重を与えることができた。ここで、豊浦砂の載荷荷重の限界値である140 kPaにおける埋設管の応力度を比較すると、両者共にほとんど埋設管の曲げ応力度は増加せず、破碎瓦において上載荷重をさらに増加させても許容応力度よりはかなり小さかった。また、補強材を敷設して最大荷重強さが増大しても、埋設管に発生する曲げ応力度は小さく、両者とも同様の傾向であった。

以上より、本検討は厳しい条件ではあったが、土被り厚さ比が3程度あれば、上載荷重に対する管の曲げ応力度は小さく、特に破碎瓦は大きな載荷荷重に対しても耐えられることが確認できた。

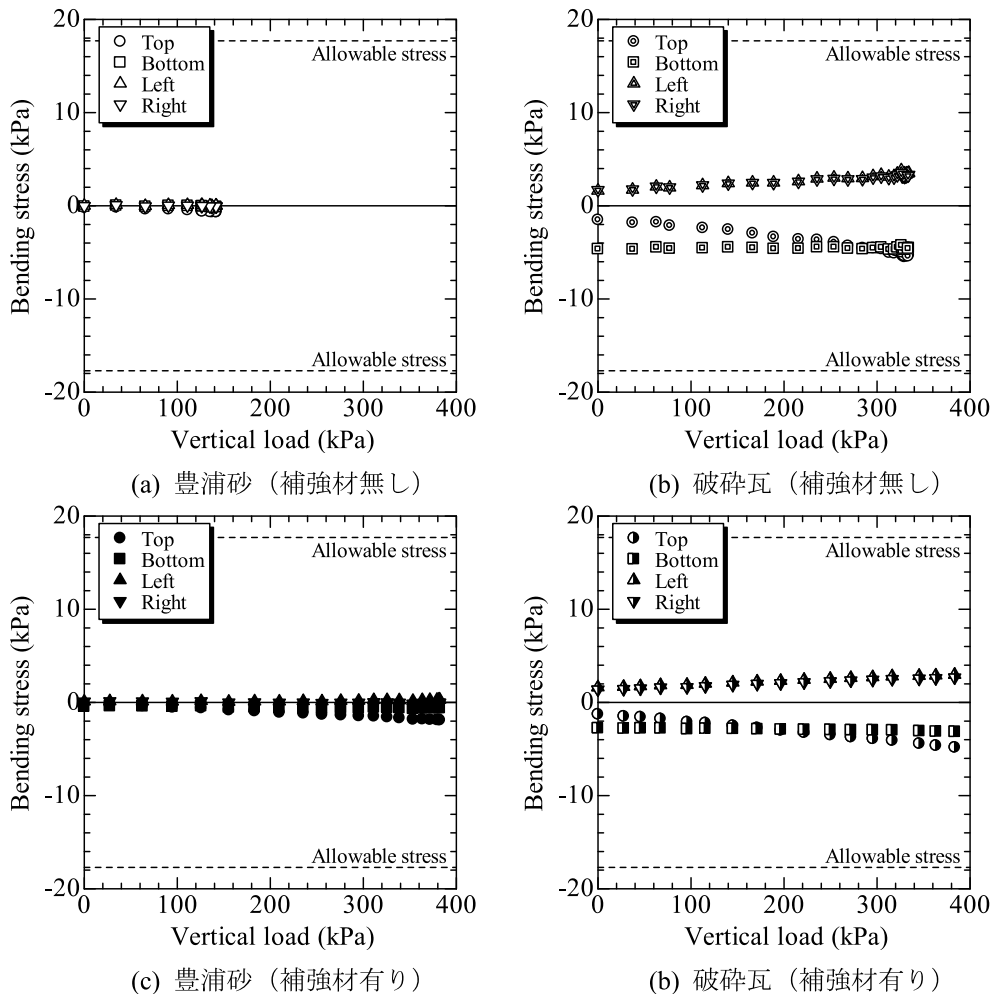


図10. 模型埋設管の曲げ応力度(室内模型試験:埋設管載荷試験)

## 4.2 実物大の現場試験

### (1) 水平土圧試験

本検討では、破碎瓦および一般的な砂質土系の埋戻し材である山砂を対象に、無負荷状態および上載荷重を10 kPa載荷した状態における水平土圧を計測した。図11に水平土圧分布を示す。計測結果より、無負荷状態において破碎瓦の水平土圧は全ての深度で山砂よりも小さく、山砂のおよそ5割程度であることが分かる。これは、上述した室内模型試験の傾向と概ね同様であった。さらに、上載荷重を載荷した場合において、山砂の場合は深度が浅いほど水平土圧の増加量が大きくなり、最大で4.8 kN増加したが、摩擦性や自立性の高い破碎瓦の増加量は山砂に比べて非常に小さく、最大でも1.3 kNほどの増加に留まり、上載荷重10 kPaに対する破碎瓦の水平土圧の増加量は山砂の1/3以下であった。また、室内模型試験の傾向と同様に同じ埋戻し材であれば上載荷重の有無に関わらず、補強材を敷設した場合においても敷設しない場合とほぼ同様の水平土圧であることから、本検討で行った実物大現場試験においても10 kPa程度の上載荷重の範囲では、補強材が水平土圧に与える影響は大きくないことが確認できた。

以上より、破碎瓦の水平土圧や上載荷重に伴う水平土圧増分は一般的な砂質土系埋戻し材よりも小さく、また10 kPa程度の上載荷重では補強材による影響は少ないことが改めて確認できた。

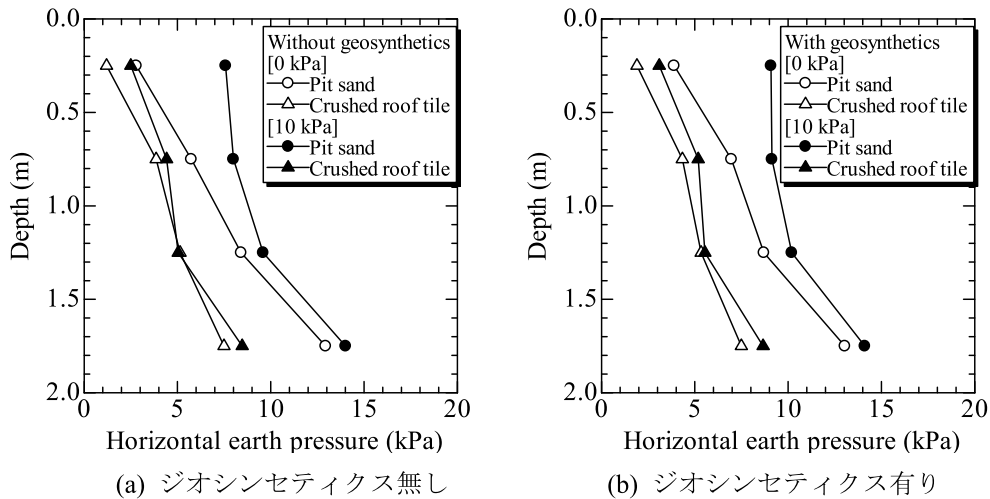


図11. 水平土圧分布(実物大現場実験：水平土圧試験)

(2) 荷重分散試験

本検討では、コンクリートブロックを地表面の中心から鉛直土圧計とは離れる方向に500 mmの間隔で順に設置し、その上に大型土嚢を静置することで上載荷重の影響範囲について検討を行った。図12、図13に補強材を敷設しない場合および敷設した場合における試験結果を示す。図の横軸は各載荷時における載荷位置と鉛直土圧計との距離である。計測結果より、破碎瓦と山砂は概ね同様の挙動を示し、載荷位置から離れると鉛直土圧の増加量はほぼ直線的に小さくなり、深度が2.0 mの位置ではおよそ1.6m程度離れるとほとんど上載荷重の影響を受けなくなり、両者の荷重分散角は35~40°程度である事がわかる。一方で、補強材を敷設した場合に影響範囲は、敷設しない場合に比べて若干広がっている傾向にあった。これは、補強材により地盤が受け持つ上載荷重の範囲が広がったためだと考えられるが、コンクリートブロックを用いた本検討の上載荷重の範囲は局所的であるため、今後も条件を変えたさらなる検討が必要であると考えられる。

以上より、破碎瓦および山砂の荷重分散角は一般的な設計値とほぼ同様の35~40°程度であり、補強材を敷設することで若干ではあるが影響範囲が広がる傾向が確認できた。

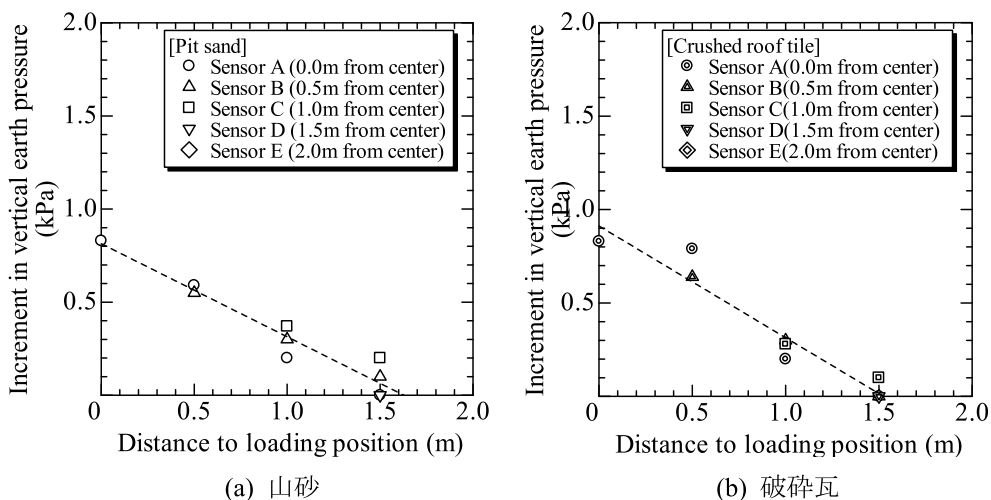


図12. 荷重分散試験結果(実物大現場実験：ジオシンセティクス無し)

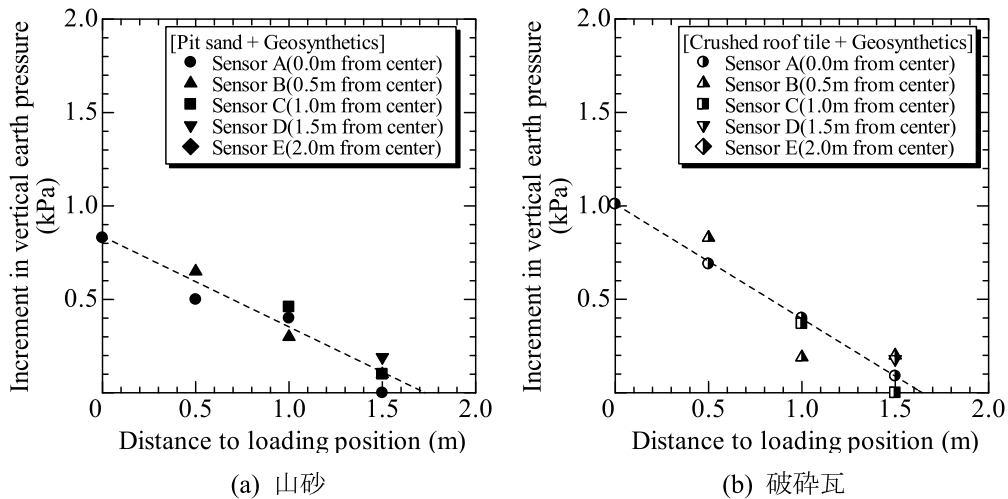


図13. 荷重分散試験結果(実物大現場実験：ジオシンセティクス有り)

### (3) 埋設管載荷試験

本検討では、上載荷重が載荷された状態における埋設管に作用する鉛直土圧や埋設管の応力度、支持力を検討するため、平板載荷試験機を用いて載荷試験を行った。ここで、本検討では埋設管には上述したように、口径200 mmの薄肉塩ビ管を用いているため、埋設管の口径と設置深度の比は5.0となる。図14に埋設管のない位置における平板載荷試験の結果および鉛直土圧計の直上で載荷した場合における埋設管設置深度(深度：1.0m)での鉛直土圧を示す。無補強状態において、同じ上載荷重に対して破砕瓦の方が山砂に比べて沈下量が小さく、山砂の最大荷重強さが約210 kPaであったのに対し、破砕瓦は約385 kPaであった。ここで、補強材を敷設した場合において、山砂の最大荷重強さは約350 kPaまで増加したものの、無補強状態の破砕瓦はこれよりも大きく、さらに補強材を敷設することにより385 kPaまで載荷した場合においても沈下量は大幅に増加していないことから、最大荷重強さはさらに大きいと考えられる。一方で、埋設管直上の鉛直土圧増分では、地盤密度の違いにより破砕瓦と山砂で初期値は異なるものの、埋戻し材の違いや補強材に関わらず、上載荷重に伴う鉛直土圧増分(鉛直土圧の勾配)はほぼ同様且つ直線的であることが分かる。

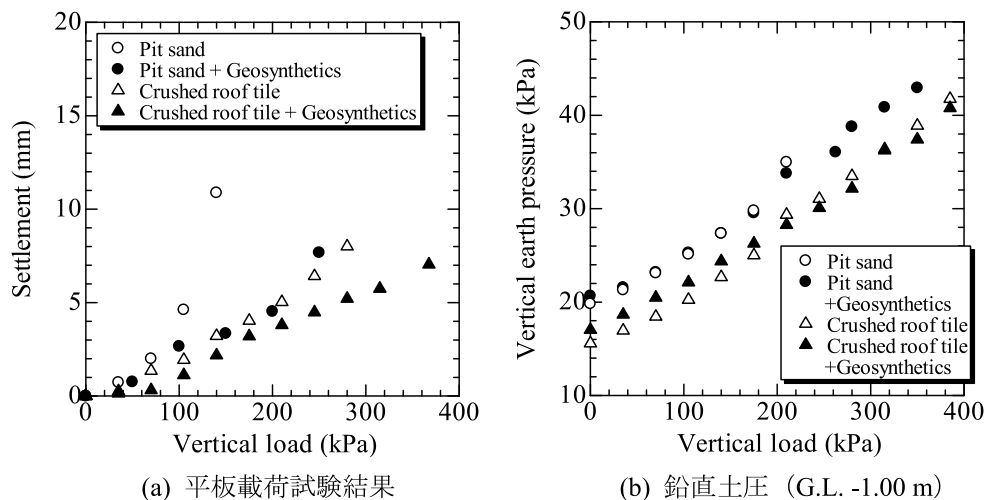


図14. 平板載荷試験結果および鉛直土圧(実物大現場実験：埋設管の応力度)

図15, 図16に補強材を敷設しない場合および敷設した場合における埋設管の曲げ応力度を示す。ここで、鉛直荷重は埋設管の中心直上に载荷している。上述した平板载荷試験の結果と同様、極限支持力の小さな無補強状態の山砂には210 kPaまでしか载荷できていないが、上載荷重が210 kPaまでは山砂も破碎瓦もほとんど曲げ応力度は増加しておらず、さらに破碎瓦は上載荷重を385 kPaまで载荷してもほとんど変化していないことが分かる。また、補強材を敷設することによって315 kPaまで载荷した山砂の曲げ応力度は若干増加したのに対し、無補強および補強材を敷設した破碎瓦はほとんど変化しなかった。

以上より、今回行った実物大試験は限定的な条件ではあるものの、無補強状態の山砂においては210 kPa以上の上載荷重が载荷された場合に地盤が支え切れずに地中に設置された埋設管は損傷を受ける可能性を示したが、補強材を敷設することにより許容できる上載荷重が上昇することが確認できた。また、破碎瓦は補強材を敷設しなくても許容できる上載荷重が大きく、破碎瓦で埋設管を埋め戻すことにより長期安定化、長寿命化に期待できることが確認できた。

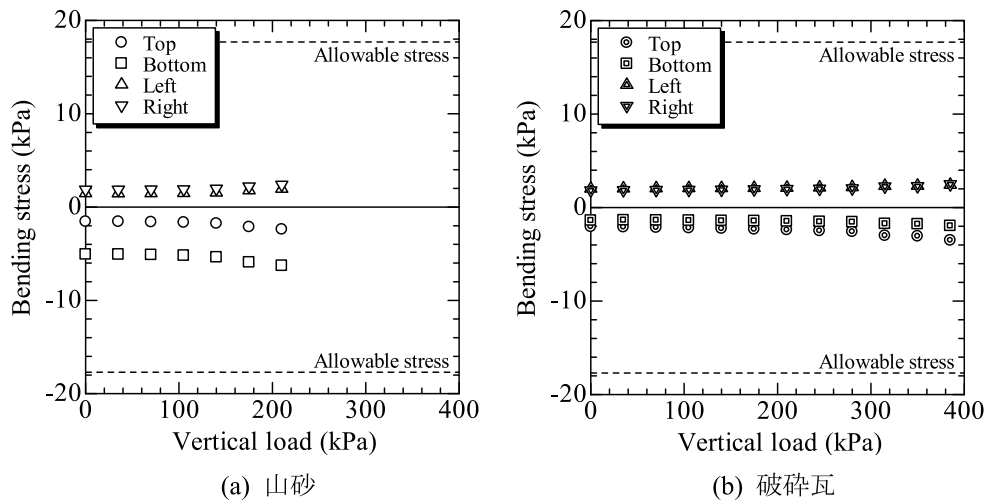


図15. 埋設管の曲げ応力度(実物大現場実験: ジオシンセティクス無し)

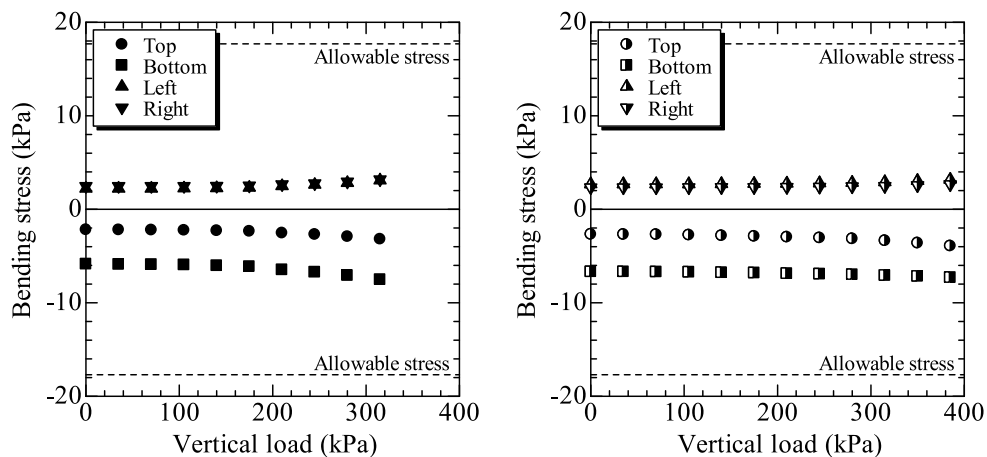


図16. 埋設管の曲げ応力度(実物大現場実験: ジオシンセティクス有り)

## 5. まとめ

本研究では、埋戻し材として破碎瓦およびその対象となる砂質土、また支持力補強を目的としたジオシンセティクスを用いて、室内模型試験や実物大現場試験を行い、破碎瓦の擁壁の裏込め材や埋設物の埋戻し材としての性能を評価した。

検討の結果、環境にやさしいリサイクル材料でもある破碎瓦は山砂などの砂質土系の埋戻し材に比べ、透水性が高く軽量なうえに極限支持力が2倍以上高く、さらに常時における水平土圧に加え外力に伴うその増加量も小さいことが明らかとなった。一方で、埋設物の埋戻し材として用いることにより大きな上載荷重にも耐えられることが明らかとなった。また、ジオシンセティクスを敷設することによって山砂などの砂質土系埋戻し材の極限支持力は大きく向上するが、破碎瓦は無補強でもこれを上回る場合がある事や、その破碎瓦の極限支持力もジオシンセティクスによってさらに向上する事、そして10 kPa程度の上載荷重においてはその影響は小さいが非常に大きな上載荷重が載荷された場合には載荷位置に近い浅層部においてジオシンセティクスの影響により水平土圧増分が小さくなる事なども併せて確認することができた。

以上より、本研究で行った室内模型試験や実物大現場試験は限定的な条件ではあるものの、破碎瓦を路盤材や擁壁の裏込め材、埋設物の埋戻し材と用いることで、道路舗装や土木構造物、埋設物の長期安定化や長寿命化にも期待できることが明らかとなった。また、ジオシンセティクスなどと組み合わせることにより、さらにその効果は大きくなることも明らかとなった。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、愛知県陶器瓦工業組合には材料や試験場所の提供などにおいて多大なるご支援を頂いた。末筆ながら深謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 経済産業省：工業統計調査・品目別統計表，<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2.html>
- 2) 愛知県陶器瓦工業組合：瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書，2009.
- 3) 国土交通省 港湾局，航空局：港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン(平成27年12月)，2015.
- 4) 森河由紀弘，佐藤智範，武田祐輔，田中雄也，神谷彦二，前田健一：無害で軽量性，摩擦性，排水性が高い破碎瓦の有用性に関する検討，第29回中部地盤工学シンポジウム，pp.52-59，2017.
- 5) 愛知県陶器瓦工業組合：安全で環境にやさしい土木資材シャモット
- 6) 吉見吉昭：砂地盤の液状化(第二版)，技報堂出版，24p，1991.
- 7) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 前編，306p，2019.
- 8) 名古屋市上下水道局：工事共通仕様書(機械設備工事編)，28p，2014.