# 無害で軽量性, 摩擦性, 排水性が高い破砕瓦の有用性に関する検討 Effectiveness of crushed tile having light weigh, high frictionality, high permeability and environmentally.

森河由紀弘<sup>1</sup>,佐藤智範<sup>2</sup>,武田祐輔<sup>3</sup>,田中雄也<sup>4</sup>,神谷彦二<sup>5</sup>,前田健一<sup>3</sup>

- 1 名古屋工業大学・大学院 社会工学専攻・morikawa.yukihiro@nitech.ac.jp
- 2 名古屋工業大学・技術部
- 3 名古屋工業大学・大学院 社会工学専攻
- 4 清水建設株式会社
- 5 愛知県陶器瓦工業組合

#### 概 要

粘土瓦は自然粘土を原料に1000℃以上の高温で焼成・製造されるため、ヒビやねじりが生じた製品として の性能を満たさない規格外瓦が毎年6万トン程度発生する.ここで、既往研究によりこの規格外瓦を20mm 以下に細かく砕いた破砕瓦は無害で軽量性、摩擦性、排水性が高いことが明らかとなり、土木資材として の有効活用が期待されている.本研究では破砕瓦の地盤材料としての評価を行うとともに、埋設物の埋戻 し材や構造物背面の裏込め材への適用などについて検討を行った.検討の結果、埋設物を破砕瓦で埋戻す ことによって交通荷重が埋設物に与える影響や液状化時における浮上がり被害等を抑制可能であり、裏込 め材として適用することによって土圧の低減効果があることも明らかとなった.また、住宅などの小規模 構造物の周囲を壁状化で囲うことによって液状化時の沈下被害も抑制可能であることが明らかとなった.

キーワード:破砕瓦,リサイクル材料,土木資材,土圧軽減,液状化対策

### 1. はじめに

近年,我が国では地震や豪雨などの自然災害が多発して おり,ひとたび構造物が被災すると,人命や財産,生活, そしてその後の経済成長に至るまで,長期間にわたって 人々に大きな傷跡を残す。そのため,多発する様々な自然 災害に対する構造物の長期安定性が強く望まれている。

ここで、構造物は支持地盤によって支えられることによ り安定性を確保し、その要求性能を発揮しているわけだが、 一方で構造物には自身の自重や土圧、水圧などの死荷重が 常に作用している.さらに、自然災害が発生すれば通常作 用している外力に加え構造物自身や背面土の慣性力、風圧 力等の様々な外力が構造物には作用し、構造物の安定性は 脅かされる。また、地震や降雨などによって構造物を支え る基礎地盤が弱体化しても構造物の安定性は低下し、要求 性能を確保することは困難となる。このように、構造物と 地盤は常に密接な関係にあるため、構造物の長期安定性を 確保するためには構造物自身の強化のみではなく、地盤支 持力の増加や土圧や地震時における慣性力の低減、間隙水 圧の上昇抑制や早期消散など構造物周囲の地盤性能を改 良することが非常に重要であると言える。

ところで、愛知県は粘土瓦の生産量が日本最大であり、

毎年約3億枚の粘土瓦が生産されている。ここで、粘土瓦 は自然粘土を原料として 1.000℃以上の高温で焼成される ため、ねじりや亀裂などが混入した製品としての性能を満 たさない規格外瓦が一定量発生してしまう。これまで、愛 知県の三州瓦では規格外瓦を有効利用するために様々な 検討<sup>1)</sup>を行い, 粒径が 0.5mm 以下になるまで細かく粉砕し た破砕瓦については粘土瓦の再生原料として利用してき た。一方で,比較的粒径の粗い破砕瓦については,友竹ら 2)や上原ら 3によって、コンクリート骨材としての適用性 が検討されており、また、破砕瓦を用いたコンクリートブ ロック<sup>4)</sup>なども既に製品化されている。ここで,破砕瓦は 「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)/国土交通省 港湾局,航空局」で新規の リサイクル材料として認定された。しかし,破砕瓦はスラ グなど他のリサイクル材料と比べ、地盤材料としての性能 を十分に検討されてきたとは言い難い。そこで、本研究で は破砕瓦の地盤材料としての有用性を検討するとともに, 破砕瓦を用いた構造物の長期安定化に関する検討を行っ た.本研究が目標とするのはリサイクル材料を用いること により環境負荷やコストの低減を実現しながら、常時にお ける構造物の安全性の向上, さらには, 地震時, 豪雨時な どにおいても長期的に安全性を確保することにある。

#### 2. 破砕瓦の特徴

破砕瓦は自然粘土を焼成して製造される粘土瓦(屋根瓦) を細かく砕いたリサイクル材料であり,近年様々な有効利 用方法が検討されている。本研究では破砕瓦の性能を地盤 材料として評価する。

#### 2.1 破砕瓦の安全性

破砕瓦の原料は自然粘土が原料であるため,土壌の汚染 に係る環境基準(環境省告示第46号)や土壌汚染対策法 に基づく含有量基準(環境省告示第19号),産業廃棄物の 最終処分(海洋投入処分)に係る基準(環境省告示第13 号),農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る 管理基準(昭和59年環水土第149号)を満足しており, リサイクル材料の中でも極めて無害で環境にやさしいリ サイクル材料であると言える。

#### 2.2 破砕瓦の物理的・力学的性質

破砕瓦は粘土瓦を細かく砕いて製造されるため,破砕瓦 の粒子形状は図1 に示すように粒径によらず角張ってい るのが特徴であり,破砕瓦には摩擦性が期待できる。また, 粘土瓦の内部構造, つまり破砕瓦の内部構造は図 2 に示 すように微細な空隙を含んだ多孔質な構造となっており, 軽量性や吸水性も期待できる。ここで,破砕瓦の原料とな る粘土瓦の厚みは14mm 程度であるため、あまり大きな粒 径に粉砕してしまうと粒子が極端に扁平となり, 地盤作成 時における粒子配列によっては「圧縮には強いがせん断に は弱い」など,異方性が卓越する可能性が高い。一方で, 破砕瓦の粒径を砂程度以下まで破砕するには大掛かりな 粉砕設備や多大な労力,コスト,エネルギーを必要とする。 しかし、最大粒径を砂程度まで細かくなく、 且つ極端に 扁 平にならない 20mm 程度以下にすることにより, 比較的簡 易な設備・方法で労力やコストを抑えたまま高い製造速度, 品質を維持することが可能となる。よって、本研究では最 大粒径を 10mm 及び 20mm 程度以下に調整した 2 種類の 破砕瓦を対象に種々の検討を行った。

表 1 に今回検討で用いた破砕瓦の物理的・力学的性質 を示す。試験結果より、5mm 程度以下に調整した破砕瓦は 砂分、20mm 程度以下に調整した破砕瓦は礫分が主体であ り、両者ともに粒度分布の良い材料であることが分かる。 ここで、20mm 程度以下に調整した材料は図 3 に示すよう に比較的液状化しにくい粒度分布<sup>50</sup>であり、さらに、非排 水繰返し三軸試験結果より、繰返し回数が 20 回で両振幅 ひずみが DA=5%に至るまでの繰返し応力比は  $R_{120}=0.580$ と比較的高い液状化強度比であることが分かる。また、破 砕瓦の透水係数は 5mm 程度以下の材料で  $k_{15}=1 \times 10^{5}$ m/s, 20mm 程度に調整した破砕瓦は比較的液状化しに くい粒度分布であり、液状化強度も透水性も高いことから、 L1 地震動において液状化の可能性が低いと考えられる。 一方で,5mm 及び20mm 程度以下に調整した破砕瓦の 最適含水比は一般的な砂質系材料と同等であるが,最大乾 燥密度は砂質系材料の中では比較的軽量であると言える。 さらに,破砕瓦は粒径によらず内部摩擦角が特に高いため, 破砕瓦を構造物背面の裏込め材として用いることにより, 常時土圧の低減効果や地震時における慣性力の低減効果 が期待できる。そして,両者は支持力を示す平均CBR も 高いため,破砕瓦を路床材に用いることにより上部の舗装 厚さを大幅に薄くすることが可能となる。これは一度焼成 した材料を破砕して製造された破砕瓦の大きな特徴であ ると言える。

吸水率試験より,破砕瓦の吸水率は7%であり,コンク リートに用いられる天然骨材の吸水率が1%以下であるこ とからも,破砕瓦は粒子内部に微細な間隙を含むため吸水 率が極めて高いことが分かる。よって,降雨などが生じて も透水性による間隙への浸透のみならず,粒子内部でも吸 水することが可能であるため,グラウンドなどの水はけ対 策や水害対策に期待が出来る。



(a) 粒径: 0.250mm (左: 破砕瓦, 右: 豊浦砂)



(b) 粒径:0.075mm以下(走査型電子顕微鏡)図 1 破砕瓦の粒子形状



図 2 粘土瓦の内部構造(走査型電子顕微鏡)

表 1 検討に用いた破砕瓦の物理的・力学的性質

土質試験結果一覧				5mm	20mm
土粒子密度試験	土粒子の密度	密度 ρ <sub>s</sub>		2.579	
土の粒度試験	礫 分(2-75mm)		%	36.5	76.4
	砂 分(0.075-2mm)		%	50.6	18.1
	シルト分(0.005-0.075mm)		%	11.6	3.5
	粘 土 分(0.005mm 未満)		%	1.3	2.0
	最大粒径		mm	9.5	26.5
	均等係数	$U_{ m c}$		34.9	43.2
	50%粒径	$D_{50}$	mm	1.184	9.059
	20%粒径	$D_{20}$	mm	0.169	1.363
土の液性限界・	液性限界	WL	%	NP	NP
塑性限界試験	塑性限界	WP	%	NP	NP
	塑性指数	$I_{\rm p}$		NP	NP
締固め試験	最大乾燥密度	$ ho_{ m dmax}$	g/cm <sup>3</sup>	1.654	1.663
(E-b 法)	最適含水比	Wopt	%	17.8	13.9
CBR 試験	膨張比	re	%	0.069	0.000
	平均 CBR		%	34.1	81.1
	90%CBR		%	30.0	32.7
	95%CBR		%	69.7	89.5
三軸圧縮試験	粘着力	$C_{ m cd}$	kN/m <sup>2</sup>	10.6	55
(CD 試験)	内部摩擦角	$\phi_{\rm cd}$	0	44.0	44.6
繰返し三軸試験	繰返し強さ応力比	$R_{L20}(D$	A=5%)	—	0.580
透水試験	透水係数	$k_{15}$	m/s	1.59E-5	9.15E-5
最少密度 ·	最小密度	$ ho_{ m d\ min}$	g/cm <sup>3</sup>	1.204	1.259
最大密度試験	最大密度	$ ho_{ m dmax}$	g/cm <sup>3</sup>	1.583	1.601
吸水率試験4)	吸水率	Q	%	7	
圧縮強さ試験4)	圧縮強さ	$\sigma_{ m c}$	MPa 78		8
すりへり試験	すりへり減量	R	%	29.5	28.4



### 2.3 粒子破砕が材料特性に与える影響

本検討では質量が 2.5kg で落下高さが 0.3m のランマー を用いて粒径が 5mm 程度以下の破砕瓦を用いた 1 層のみ の締固め・破砕を行い,破砕後の試料に対して種々の土質 試験を行った。図 4 に試験結果を示す。ランマーの落下回 数(破砕エネルギー)の増大に伴い細粒分含有率の増加や 透水係数の低下が確認できるが,粒子破砕の影響は 10,000kJ/m<sup>3</sup>程度でほぼ定常化している。一方で,内部摩擦 角は粒子破砕によらずほぼ同様であり,これは上述したよ うに破砕瓦の粒子は粒径によらず角張っているからだと 考えられる。ここで,表 1 に示す圧縮強さ試験及びすりへ り試験の結果より,破砕瓦粒子の圧縮強さは 78MPa,すり へり減量は 28.4%であり,アスファルト舗装要綱のよれば, 表層・基層に用いる骨材のすり減り減量は 30%以下であり, 破砕瓦はこれらの基準を満足している。

以上より,破砕瓦地盤における破砕の進行や強度低下な どはほとんど生じないと考えられる。



# 3. 構造物に対する水平土圧の低減効果

破砕瓦は軽量性や摩擦性に優れるため,構造物に常時作 用する水平土圧の低減効果が期待できる。そこで,本検討 では模型実験により破砕瓦の土圧低減効果を確認した。

#### 3.1 実験条件及び考察

図 5 に実験装置を示す。模型地盤は幅 500mm×奥行き 460mm×高さ 480mm であり,幅 498mm×高さ 78mm×6 段から構成される壁面にはロードセルが取り付けてある。 本検討で用いた試料は粒径が 5mm 程度以下の破砕瓦及び 珪砂7号であり,各試料は 200 回/1層(10kg)の締固め を行い,実物と同様に密な状態とした。珪砂7号及び破砕 瓦の相対密度はそれぞれ  $D_r$ =94.7%, 89.5%であった。また, 土圧を測定する壁面はジャッキを用いることにより平面 性を保ったまま全深度同時に水平移動が可能である。



図 5 実験装置

#### 3.2 実験結果

図 6 に乾燥した破砕瓦及び珪砂 7 号地盤における水平 土圧の深度分布を示す。上載荷重が増加すると両者におけ る水平土圧の差は小さくなる傾向にあるが,無負荷状態で ある q=0kPa における水平土圧は珪砂 7 号に比べて最大で 約 43%も低減しており,上載荷重が q=10kPa 作用している でも最大で約 34%程度の水平土圧を低減している。その結 果, q=0kPa における破砕瓦の水平土圧合力は珪砂 7 号に 比べて約 32%, q=10kPa でも約 14%低減している。今回の 土槽高さは一般的な擁壁よりも低いため実験結果も限定 的ではあるが,水平土圧分布を見ると概ね G.L.-100mm 以 深では一定の土圧低減効果が得られていることから,壁高 の高い擁壁においても土圧の低減効果は期待できる。



図 7に壁面の水平変位量と水平土圧合力の関係を示す。 縦軸は水平土圧合力,横軸は壁面の水平変位量&を壁面高 さ hw で正規化した値であり,本実験は上載荷重 q=10kPa を載荷したまま壁面を水平移動させ,強制的に土圧を主働 状態に移行させた検討である。試験結果より,破砕瓦の水 平土圧合力は珪砂7号を概ね下回っており,水平土圧合力 がほぼ定常状態となった壁体変位量比が 0.1%では破砕瓦 は珪砂7号に比べて約37%も低減している。また,壁体変 位量が 0.1%の時点で珪砂7号では初期値の約29%,破砕 瓦では約20%にまで大幅に水平土圧合力が低下している。

以上より,軽量性や摩擦性に優れている破砕瓦を構造物 の埋戻し材として用いることにより,構造物に外力として 作用する水平土圧を低減できると考えられる。



# 4. 埋設物に対する交通荷重の低減効果

破砕瓦は摩擦性や支持力が高いため,埋設物に作用する 交通荷重の低減効果が期待できる。そこで,本検討では実 物の下水管や大型車両を用いた実物大の実証実験を行い, 破砕瓦を用いた埋設管に作用する交通荷重の低減効果を 確認した。

#### 4.1 実験条件

図 8 に実験概要を示す。埋設管には一般的な下水管と して使用されている内径 D=200mm,長さは L=4,000mmの 塩ビパイプ(VU200)を使用し,埋戻し材には図 9 に示す 破砕瓦(0-5mm)と実際に埋戻し材として用いられている 石灰改良土を用いた。ここで,石灰改良土の湿潤密度及び 含水比は p=1.983g/cm<sup>3</sup>, w=18.4%,破砕瓦は p=1.544g/cm<sup>3</sup>, w=1.1%であり,埋戻し材の上部には再生砕石,再生密粒度 アスファルトで舗装を行った。ここで,埋設管の設置深度 は国土交通省の基準から最低土被り厚となる 1.0m とし, 埋設管を設置する際の掘削幅は愛知県の基準と同様の 0.8m とした。また,埋設管の両端にはコンクリート平板を 設置してあり,埋設管をこの平板に固定することにより実 験時における埋設管の回転や沈下等を抑制している。埋設 管に作用する外力は実際に大型車両を通行させることに よって与えた。 ここで,計測機器は図8に示すように車輪の直下部で あり最も埋設管の断面変形が大きいと考えられる L/4=1,000mmの位置において,管の断面方向(円周方向) にひずみゲージを上下左右部に張り付け,埋設管の天端付 近には鉛直土圧計と熱電対型の地中温度計を設置した。



#### 4.2 実験結果及び考察

図 10に1日当たりの交通荷重及び累計交通荷重を示す。 本実験は工場内にある車体重量計測装置の前で行われて おり、交通荷重となる大型車両は全て車体重量が計測・記 録されている。本検討は計測を開始してから現在までに約 1,300日が経過しており、工場稼動日には毎日70~80台程 度の大型車両が通行し、交通荷重としては1日平均 8.561MN(874トン)、現在までの累積交通荷重は約 8,500MN(870,000トン)にも上る。



図 11 に午前8時における地下水位を示す。図8に示す ように埋設管の下端部は約G.L.-1.2mであるが,地下水位 は潮位や降雨の影響をほとんど受けず埋設管より2.0m程 度低いため,本検討では地下水位が計測結果に与える影響 はほとんどないと考えられる。



図 12 に埋設管の上部及び右部における埋設管設置後か らのひずみの増分値を示す。計測結果より,両者とも周期 的にひずみが変動していることが分かる。これは,図 13 に示す午後 13 時における G.L. -1.0m での地中温度から, 気温の変化により地中温度も変化し,それによって埋設管 が熱膨張・収縮を起こしたためだと考えられる。しかし, 両者の地中温度はほぼ同様であるため,埋戻し材による地 中温度の差が埋設管に与える影響はほとんどなく,両者は 温度補正等を考慮せずとも直接比較できると考えられる。

ここで、両者のひずみを比較すると、破砕瓦地盤内の埋 設管のひずみは季節変動を伴うもののほぼ毎年同じ傾向 を示しており、ひずみの経時的な増加は小さいと言える。 一方で、石灰改良土地盤内の埋設管は管が潰れる方向に 年々ひずみが増大し続けていると言える。

図 14 に車輪直下部で G.L.-1.0m 地点における鉛直土圧 を示す。鉛直土圧は埋戻し前である無負荷状態を初期値と している。計測結果から,破砕瓦は軽量であるため埋戻し 直後においては石灰改良土よりも鉛直土圧が小さいが,計 測から1年程度までは増加傾向にあり,その後は概ね安定 していると言える。これは,交通荷重により地盤が密にな った事と,ある種のサイロ効果によるものだと考えられる。 一方で,石灰改良土も交通荷重載荷直後においては破砕瓦 と同様に鉛直土圧が増加しているが,その後は減少や増加 を繰返しており,安定しているとは言い難い。つまり,石 灰改良土では破砕瓦では見られない緩みなどによる影響 があり,地盤が不安定になっている可能性がある。そのた め,埋設管に作用する交通荷重も変動し,図 12 に示すよ うな断面方向のひずみが変動していると考えられる。

以上より,摩擦性や支持力が高い破砕瓦を埋設物の埋戻 し材として用いることにより交通荷重が埋設物に与える 影響を低減可能であり,埋設物の長寿命化にとって有効的 な方法であると考えられる。







# 図 14 鉛直土圧 (G.L. -1.0m)

Elapsed time, t[day]

#### 5. 地上構造物及び埋設物の液状化対策

我が国では兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震,熊本地震など大規模な地震が多数発生しており,様々な被害が報告されている<sup>7)~9</sup>。そこで,本検討では埋設物の浮上り対策と構造物の沈下対策に関する検討を行った。

# 5.1 液状化時における埋設物の浮上り対策

#### 5.1.1 実験条件

本検討では重力場における振動台実験を用いて,破砕瓦 を用いた埋設物の浮上り抑制効果を確認した。図 15 に実 験条件を示す。実験土槽は幅 1,200mm×奥行き 1,000mm× 高さ 800mm であり,模型縮尺は S=1/10 を想定している。 ここで,埋設物には直径 100mm,高さ 200mm,比重 1.157 の樹脂性マンホールを用いており,模型地盤には飽和した 豊浦砂を用いた。本検討では未対策の Case A,一般的な埋 戻し範囲である 150mm×150mm×220mm を破砕瓦で埋め 戻した Case B, Case B よりも埋戻し範囲が広い Case C に ついて同一土層内で実験を行った。また、本実験では模型 地盤である豊浦標準砂と液状化対策型の埋戻し材である 破砕瓦は締固めを伴わない水中落下方式で作成し,それぞ れの相対密度は Dr=22.8%, 18.3%であった。

計測機器は図 15 に示す未改良部, Case B 及び Case C の 破砕瓦内部の計 3 箇所に間隙水圧計を設置し, マンホール 上部には加速度計も設置した。また,入力加速度は 4Hz で 最大加速度が 2.0m/s<sup>2</sup> 程度の正弦波とし,加振時間は長時 間地震動を想定して 30 秒とした。



#### 図 15 実験概要

#### 5.2 実験結果及び考察

図 16に入力加速度及び模型マンホール上部における応 答加速度を示す。入力加速度においては最大加速度が概ね 2.0m/s<sup>2</sup>程度であるが、全ケース共に応答加速度は入力加速 度に比べて非常に小さい。また、未改良地盤である Case A では加振 10 秒後以降から徐々にマンホールが傾斜してい ることが分かる。

図 17 に過剰間隙水圧比を示す。全ケース共に加振と同時に過剰間隙水圧比が大きく上昇しているが、Case B や Case C では加振中から過剰間隙水圧比が大きく減少しており、加振後における水圧の消散も早いことが分かる。

図 18 に埋設物の浮上り量,図 19 に加振後の状況を示 す。マンホールは加振開始から 11 秒程度で完全に浮き上 がり,最終的には完全に横たわっている様子が見て取れる。 ここで,土層中央部での加振終了後におけるマンホールの 地表面に対する相対変位量は,Case B は 8.6mm の隆起, Case C では 13.6mm の隆起であった。Case B や Case C は 若干の差はあるものの掘削・埋戻し幅によらずほぼ同様の 結果であり,両者は液状化時におけるマンホールの浮上り 被害を大きく抑制できていると言える。

以上より,摩擦性や排水性が高い破砕瓦を埋設物の埋戻 し材として用いることにより,従来の掘削・埋戻し範囲の まま液状化時における埋設物の浮上り被害を大きく抑制 できると考えられる。



図 16 入力加速度と応答加速度(埋設物の浮上り対策)



図 17 過剰間隙水圧比(埋設物の浮上り対策)



図 19 加振後の状況(埋設物の浮上り対策)

# 5.3 液状化時における構造物の沈下対策5.3.1 実験条件

本検討では重力場における振動台実験を用いて,破砕瓦 を用いた地中連続排水壁による液状化時における構造物 の沈下抑制効果を確認した。図 20 に実験条件を示す。



本検討における実験装置や入力加速度や加振時間,地盤 条件等は上述した「液状化時における埋設物の浮上り対策」 と同様である。ここで,模型縮尺は S=1/30 を想定してお り,構造物には既設住宅を想定した 200mm×200mm,設置 圧 q=0.66kPaのアルミニウム製基礎を用いた。本検討では 未対策の Case A,破砕瓦を用いた地中連続壁による液状化 対策を行った Case B について同一土層内で実験を行った。 計測機器は図 20 に示す未改良部に1箇所,破砕瓦を用い た地中連続壁の内側に3箇所の計4箇所に間隙水圧計を 設置し,それぞれの構造物上部には加速度計も設置した。

#### 5.3.2 実験結果及び考察

図 21 に過剰間隙水圧比を示す。全ての地点において加振と同時に過剰間隙水圧比が大きく上昇しているが、排水 壁に囲まれた地盤内では早期に過剰間隙水圧が消散して いることが分かる。特に排水壁の近傍である B1 では加振 中から過剰間隙水圧が低下していることが分かる。

図 22 に構造物の沈下量を示す。Case B は Case A に比 べて加振中及び加振後における沈下量を大きく抑制でき ている。これは、地中連続排水壁の剛性によって構造物下 部地盤の側方流動を抑制し、さらに、排水効果によって早 期に地盤の過剰間隙水圧が消散したためだと考えられる。

図 23 に加振後における地盤内の状況を示す。Case B は 未改良である Case A に比べて沈下量を抑制できており, 構造物の沈下に伴う地盤内の変位, つまり側方流動も小さ い。また, 地中連続排水壁は加振後においても健全である。







図 23 加振後の状況(構造物の沈下対策)

以上より,破砕瓦を用いて既設構造物の周囲に地中連続 排水壁による液状化対策を行うことにより,液状化時にお ける構造物の沈下被害を抑制できると考えられる。

#### 6. まとめ

本検討では破砕瓦の地盤材料としての性能を評価し,構 造物に与える外力の低減効果や液状化対策などについて 検討を行った。以下に本検討によって得られた知見を示す。

- 破砕瓦は安全で環境にやさしいリサイクル材料であり、軽量性、摩擦性、排水性などが優れている。
- 2) 破砕瓦を構造物背面の埋戻し材として用いることに より、構造物に作用する水平土圧を低減出来る。
- 破砕瓦を埋設物の埋戻し材として用いることにより、 交通荷重が埋設物に与える影響を低減できる。また、 液状化時における浮上がり被害を抑制できる。
- 4) 破砕瓦を用いて既設構造物の周囲に地中連続排水壁 による液状化対策を行うことにより、液状化時におけ る構造物の沈下被害を抑制できる。

#### 参考文献

- 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.
- 2) 友竹博一,清水利康,坂本一樹,鳥居和之:廃瓦再生細骨材 を使用したコンクリート製品の諸性質,コンクリート工学年 次論文報告集, Vol. 25, No. 1, PP.1355-1360, 2003.
- と原匠、梅原秀哲、友竹博一、篠田泰宏:瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性、コンクリート工学年次論文集、Vol.27, No.1, pp.1405-1410, 2005.
- 4) 愛知県陶器瓦工業組合:シャモット製品カタログ
- 5) (財)沿岸開発技術研究センター:埋立地の液状化対策ハン ドブック, 1993, 99pp.
- 6) (社) 日本道路協会:アスファルト舗装要綱, 1988, 34pp.
- 風間基樹:2011年東北地方太平洋沖地震被害の概要と地盤工 学的課題,地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.1-11, 2012.
- 8) 岡二三生,吉田信之,甲斐誠士,飛田哲男,肥後陽介,鳥居 宣之,鏡原聖史,中西典明,木元小百合,山川優樹,東瀬康 孝,渦岡良介,京谷孝史:東北地方太平洋沖地震被害調査報 告一宮城県北部一,地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.37-55, 2012.
- 9) 安田進・原田健二・石川敬祐:東北地方太平洋沖地震による 千葉県の被害,地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.103-115, 2012.