

みらい建設工業の取組み

持続可能な社会インフラの整備と地球環境の保全を目指した粘土瓦破碎物の利活用技術

—国土の減災、安全安心な街づくり及び高生産性農地の整備への挑戦—

みらい建設工業株式会社 技術本部

森河由紀弘
小堀 諒士

1 はじめに

我が国では古来より城や寺院などの屋根材には粘土瓦が使用されてきたが、一六五七年の明暦の大火以降となる享保五年（一七二〇年）になると粘土瓦は防火対策として武家屋敷や商家などでも使用され、明治以降にもなると一般住宅にも広く普及した。高度経済成長期の昭和四十年における粘土瓦の出荷枚数は日本全国で約七億二〇〇〇枚にも上り、安定成長期が始まる昭和四十九年から兵庫県南部地震が発生した平成七年までは横ばいとなり、平均して約一六億二〇〇〇枚（四八〇万トン）の粘土瓦が毎年出荷された。ここで、粘土瓦の耐用年数は約六〇年であるため、近い将来には葺き替えによって今まで使用されていた粘土瓦は大量の廃棄瓦へと変わり、長期にわたり日本全国で毎年発生する。

さらに、東北地方太平洋沖地震（平成二十三年）や熊本地震（平成二十八年）、能登半島地震（令和六年）など、巨大地震が発生すると多くの住宅が被害を受け、大量の被災瓦も発生する。そして災害廃棄物である被災瓦の運搬や処分には多大な労力やエネルギー、費用、時間などのコストがかかり、地球環境へ悪影響を与え、復興の妨げにもなる。従って、被災瓦をその発生地や周辺地域で有効活用することは、地球環境の保全や被災地の早期復興などへの貢献につながる。

一方、粘土瓦は自然粘土を原料とし、地域性はあるもののほとんどの地域で千度以上の高温で焼成され製造される。そのため、粘土瓦製造時においても、ヒビが入るなどして性能を満たさない

規格外瓦（不良品）が七〜九%発生する。従って、災害や葺き替え、不良品など、発生源にかかわらず、不要となった粘土瓦の有効活用は、産業廃棄物の削減をはじめ、それらの処分・運搬に関わる温室効果ガスの抑制においても重要であると言える。

このような状況の中、愛知県の三州瓦では日本の屋根瓦の約七〇%が生産されており、三州瓦のメーカーを統括している愛知県陶器瓦工業組合は、四〇年ほど前から新品の不良品瓦（規格外瓦）を粉末状にして、新たな屋根瓦用の原料に還元するリサイクルを実施してきた。そして、このような取り組みを促進するため筆者らも同組合の粒径が大きな「破碎瓦」を対象とし、地盤材料としての利活用に関する検討を十年以上にわたり行ってきた^①。本稿では、自然粘土を原料とする破碎瓦が地球環境に与える影響は小さいこと、自然砂質土よりも軽量で地盤強度にとつて重要な摩擦性が高く、排水性や吸水性なども高い特徴があること、及び破碎瓦の利活用技術について紹介する。

2 破碎瓦の物理的・力学的性質

筆者らは破碎瓦の土木資材（地盤材料）としての性能を評価するため、愛知県陶器瓦工業組合が製造する最大粒径が約五mm（CRT 〇―五）の破碎瓦と約二〇mm（CRT 〇―二〇）の破碎瓦の二種類を用いて検討を行った。ここで、破碎瓦の原料となる粘土瓦の厚みは一四mm程度であり、極端に扁平な粒子形状にならないように、破碎瓦の最大粒径は二〇mm程度に制限している。図1、表1にそれぞれの粒度分布、土質試験結果を示す。

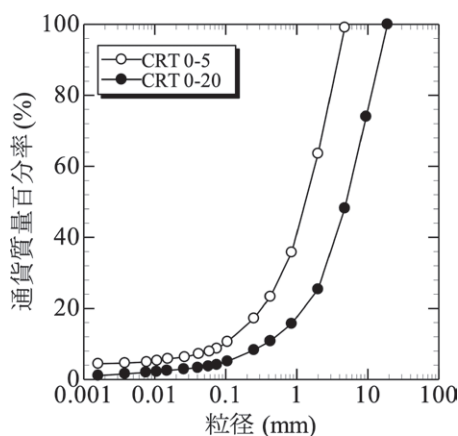


図1 破碎瓦の粒度分布

最大乾燥密度は共に一・六五 g/cm^3 程度であり、自然砂質土よりも軽い。その上で、内部摩擦角は両者共に四五度と極めて高く、液状化強度を示す繰返し強さ応力比や支持力を示すCBR値も高い。透水係数は粒径が大きい〇―二〇の方がやや高く、摩擦への抵抗性であるすりへり減量は三〇％以下、風化への抵抗性であるスレーキング率は〇・一％であり、安定した材料である。吸水率を計測した結果、破碎瓦の粒子には微細間隙が多く含まれるため、天然粗骨材の吸水率が一％未満であるのに対し、破碎瓦は六〜七％であった。従って、破碎瓦は雨水を地中に速やかに浸透させる効果に加え、破碎瓦粒子自身で吸水する効果も期待できる。

規格外瓦を砕いた破碎瓦の安全性について検討した結果、土壌の汚染に係る環境基準や土壌汚染対策法に基づく溶出量基準・含有量基準、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などを満足し、水素イオン濃度pHについても中性を示し、環境負荷は小さいと考えられる。

表1 破碎瓦の土質試験結果

項目		CRT 0-5	CRT 0-20
土粒子密度	ρ_s g/cm^3	2.579	
最大粒径	mm	9.5	19
均等係数	U_c	19.0	17.8
50%粒径	D_{50} mm	1.44	5.04
20%粒径	D_{20} mm	0.328	1.37
最大乾燥密度	ρ_{dmax} g/cm^3	1.654	1.663
最適含水比	w_{opt} %	17.8	13.9
設計 CBR	%	83.6	81.1
95%修正 CBR	%	85.3	89.5
内部摩擦角	ϕ_d deg	45.1	44.6
粘着力	c_d kPa	20	66
繰返し強さ応力比	R_{L20}	0.684	0.580
透水係数	k_{15} m/s	1.20×10^{-5}	2.15×10^{-4}
すりへり減量	%	29.5	28.4

3 利活用技術

(1) 地盤強度改良材

破碎瓦は摩擦性が高く、大小様々な粒子を含むため、かみ合わせ効果と粒度改善効果による軟弱地盤の強度改良材として使用することができる。破碎瓦を用いた地盤改良の一例として、改良対象には実際の施工現場から場外搬出された平均粒径が約〇・六mmでシルト分が九％、粘土分が一％の細粒分質礫質砂を使用し、地盤改良材としての破碎瓦にはCRT 〇―五と〇―二〇の二種類を用いた。図2に破碎瓦の乾燥質量混合率と九五％修正CBRの関係を示す。破碎瓦の種類に因らず、両者は共に地盤支持力を示す修正CBRが破碎瓦

混合率に伴い大幅に改善していることが分かる。さらに、改良対象に細粒分をほとんど含まない平均粒径が約〇・二mmの細砂を使用し、改良材にCRT 〇―五を用いた検討においても、図3に示す混合土の内部摩擦角は図2の結果と同様に、破碎瓦混合率に伴い増大していることが分かる。図2、図3に示したように、改良対象の細粒分含有率や平均粒径に因らず、軟弱地盤などに対し

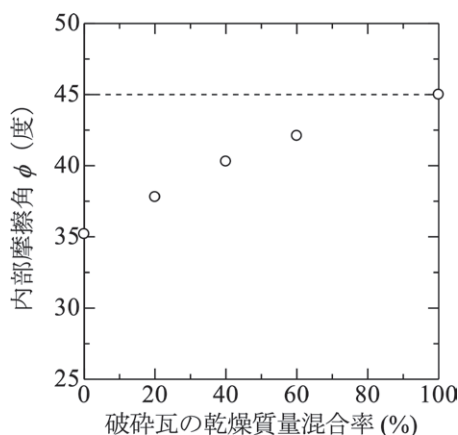


図3 細粒分の無い細砂を用いた検討 (CRT 0-5 を使用)

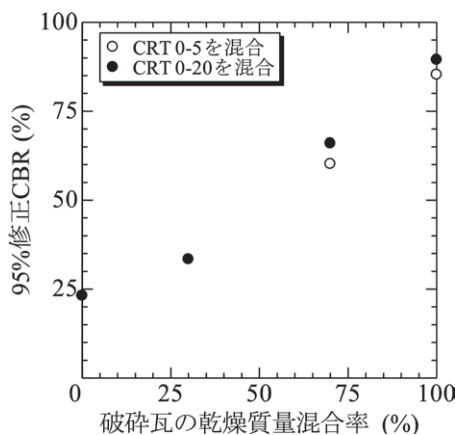


図2 細粒分質礫質砂を用いた検討 (CRT 0-5、CRT 0-20 を使用)

破碎瓦を混合することで、セメントなどの化学的作用に頼らずとも地盤強度の改善が可能であり、さらに固化してもいらないため再掘削も容易である。

(2)排水性埋戻し材

破碎瓦は摩擦性に加え排水性も高いことから、暗渠管の埋戻し材などの排水性材料としても使用することができる。図4は能登地域における農地の生産性を向上させるため、暗渠管の埋戻し材として使用した破碎瓦の例である。同地域では毎年一〇〇〇トン以上の破碎瓦が使用されている。

図5は雨水が溜まりやすいグラウンドの水はけ改修の例であり、現地土の平均粒径は約〇・一mm、細粒分含有率は三一・五％、透水係数は〇・〇八 cm/s であるため、透水性はかなり悪いと言える。改修工事では、現地土を四〇cm程度掘り起こし、CRT 〇―二〇を三〇cm敷設し（暗渠管有り）、その上に表土として現地土を再利用し一〇cm被覆を行った。雨水が溜まりやすかったグラウンドは破碎瓦を用いた改修により、降雨の翌日には使用できるほど水はけが大幅に改善された。ここで、現地土の再現試験として、図6に示すように内径が一〇cmの透明アクリルパイプを用いて、破碎瓦を三〇cm敷き詰めた上に現地土を一〇cm被覆した。そして、その上に水を約一〇cm溜めて、破碎瓦の下端部から排水させた結果（暗渠管があることを想定）、現地土のみでは表層面から水がなくなるまでに、五〇時間ほどを要したのに対し、破碎瓦を三〇cm敷設した場合は一〇時間ほどで排水が完了した。



図4 暗渠管の埋戻し材



図5 グラウンドの水はけ改修



4 おわりに

本稿では破碎瓦の性質を示すと共に、活用例の一部を紹介した。他にも構造物の埋戻し材として破碎瓦を用いた場合には水平土圧の低減効果や、高い支持力が期待できるなど、破碎瓦特有の性質

はまだまだ紹介しきれないので、参考文献も参照頂きたい。最後に、本技術が能登半島地震などの災害復興の一助となり、本稿のタイトルのようなことにつながることを望んでいる。

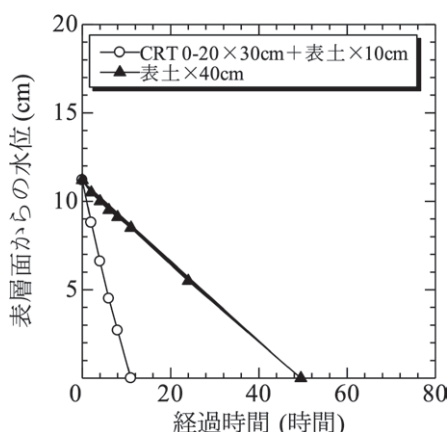
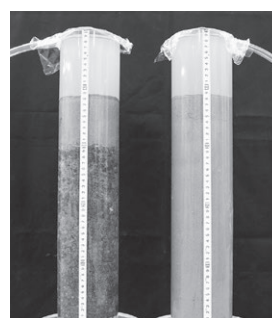


図6 グラウンドの透水性試験

謝辞

本技術を開発するにあたり、名古屋工業大学の佐藤智範技術職員らや中部大学の余川弘至准教授、愛知県陶器瓦工業組合には多大なる協力を頂いた。末筆ながら深謝の意を表する。

参考文献

(1) 森河由紀弘ら「摩擦性や軽量性が高い破碎瓦の裏込め材や裏埋め材などとしての適用性に関する検討」土木学会論文集、Vol. 79, No. 5, 22-00208, 2023.