

キャピラリーバリアを構成する礫材の代替材 としての貝殻の建設重機による破碎実験

A Cratering Experiment of Shells by Constructive Heavy Machinery
for the Alternative to Gravel Constituting a Capillary Barrier

松 元 和 伸 ^{*1} Kazunobu Matsumoto	小 林 薫 ^{*1} Kaoru Kobayashi	森 井 俊 広 ^{*2} Toshihiro Morii
桃 木 昌 平 ^{*1} Shohei Momoki	田 口 勝 夫 ^{*3} Katsuo Taguchi	染 谷 昇 ^{*3} Noboru Someya

【要旨】

キャピラリーバリア（以下、CBと記す）の構造は、砂層とその下部に礫層を重ねた単純な土層から成る。そのため、粒径の細かい上部の砂材が礫材の間に混入しやすく、長期供用時にCBの機能の低下が懸念される。筆者らは、礫材の代替材として破碎機による破碎貝殻を用いることで、この課題を解決できる可能性を見出した。建設現場での実施工を考えると、直接巻き出した貝殻を建設重機によって破碎することで、専用破碎機を必要とせず、転圧も同時に行えると考えられることから、建設重機による貝殻の破碎方法と現場での品質管理法について、研究を実施している。

本報は、建設重機により破碎した貝殻を、CBの礫材の代替材として利用可能とするための施工方法と現場での品質管理法の確立を目的に、貝殻の巻き出し厚さと建設重機による転圧回数を組み合わせた条件下の実験で得られた破碎貝殻の粒度特性を、詳細に把握した結果について述べる。その結果、建設重機により破碎した貝殻は、CBを構成する礫材の代替材として十分活用できる可能性を明らかにした。

【キーワード】 貝殻 キャピラリーバリア (CB) 重機による破碎 粒径加積曲線

1. はじめに

砂層とその下部に礫層を重ねた単純な構造の土層地盤では、互いの層の土粒子の大きさ等に伴う保水性の違いにより、砂層と礫層の境界面の上部で降下浸透水が遮蔽・貯留（集積水）する。境界面に傾斜をつけるとこの集積水は傾斜方向に流下していくため、境界面はあたかも不透水性の障壁として機能する。このような浸透水の遮断・貯留機能を土の毛管障壁あるいはCBと呼んでいる¹⁾。CBの機能を有効に発揮させるためには、構成する砂材と礫材の保水性に大きな差をつけることが効果的である。しかし、その場合、砂材と礫材の粒径差を大きくするため、数十年に及ぶ長期の供用において、降雨浸透や地震力の作用に伴い上部の砂材が下部礫層間へ移動することが想定され、砂礫が混合することでCBとしての機能低下が懸念される²⁾。

この課題に対して、破碎した貝殻が礫材と同様の保水性能を有していることに着目し、礫材の代替材

として粉碎機によって破碎した貝殻を下部層に用いることで、CBの機能を損なわず、また、適切な細粒分を有することで上部の砂材が下部の貝殻層へ移動することも同時に防止できる可能性を見出した^{3),4)}。

しかし、実施工を想定し大量の貝殻を破碎するだけでなく、適切な破碎貝殻の品質と量を確保するためには、大型破碎機を有する工場まで貝殻を運搬する必要がある。また、破碎貝殻を工事現場へ運搬する工程が生じると共に、CBに適した粒径・粒度分布の破碎貝殻を製造する専用破碎機を保有する工場が必要となる。一方、現地で直接巻き出した貝殻を建設重機で転圧し破碎すれば、専用破碎機を必要とせず、転圧も同時に行うことができると考えられる。そこで、建設重機により破碎した貝殻をCBの礫材の代替材として利用可能とするために、建設重機による貝殻の破碎方法と現場での品質管理法の研究を実施している。

1. 建設事業本部 技術研究所 2. 新潟大学 災害・復興科学研究所 3.(有)TNS

本報では、建設重機により破碎した貝殻を、CBの礫材の代替材として利用可能とするための施工方法と現場での品質管理法の確立を目的に、貝殻の巻き出し厚さと建設重機による転圧回数を組み合わせた条件下の実験で得られた破碎貝殻の粒度特性を、詳細に把握した結果について述べる。

2. 既往研究による粉砕機を用いた礫材の代替材に適した破碎貝殻の粒度特性

2.1 保水性から見た破碎貝殻の粒度特性

中房ら⁴⁾は、粉砕機により破碎した貝殻（ホタテ貝・赤貝）の水分特性曲線（SWCC）を得るために保水性試験⁵⁾を実施した。その結果、粉砕機により破碎した貝殻は、粒径や粒度分布に関係なく、礫材の代替材として使用できるという結論を得ている。

2.2 砂材混入防止から見た破碎貝殻の粒度特性

中房ら⁴⁾は小型振動台を用いて、上部の砂材（珪砂6号）が下部の破碎貝殻層にどの程度移動するかを定量的に把握する振動実験を実施した。その結果、**図-1**の①（粉砕機使用後の破碎貝殻から0.85mm以下の細粒分を除去）より小さな粒径・粒度分布では、振動の影響を受けても砂材が下部の貝殻層へ移動しないことを明らかにしている。

以上のことから、破碎機を用いた場合、礫材の代替材として、CBに適した保水性と下部の破碎貝殻層への砂材混入防止を両立できる粒径加積曲線の範囲として検証されているのは**図-1**の斜線部に示すとおりである。以下、**図-1**の①より左側の検証されている領域（斜線部）を領域内、右側の領域を領域外と呼ぶ。

3. 効果的な貝殻破碎に適した建設重機の選定に関する実験

3.1 概要

前章において粉砕機を用いて破碎した貝殻の保水性と砂材（珪砂6号）の混入防止の観点から、CBの礫材の代替材として破碎貝殻を利用する場合に必要な粒度特性の範囲を示した。しかし、実施工では、礫材の代替材として破碎機で破碎した貝殻を現場に持ち込むのではなく、建設重機を用いて現地で直接破碎・同時転圧の方が効率的である。そこで、CBに適した破碎貝殻を効率よく得るために、重量、車輪タイプ、転圧方法の異なる4機種建設重機による破碎実験を実施した。その上で、建設重機ごとの貝殻の破碎状況と破碎能力を確認し、CBに適した貝殻破碎として細粒分を多く破碎生成できる効果的

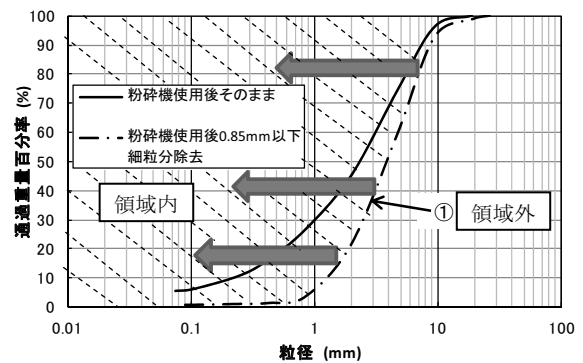


図-1 礫材の代替材に適する破碎貝殻の粒径・粒度分布の範囲

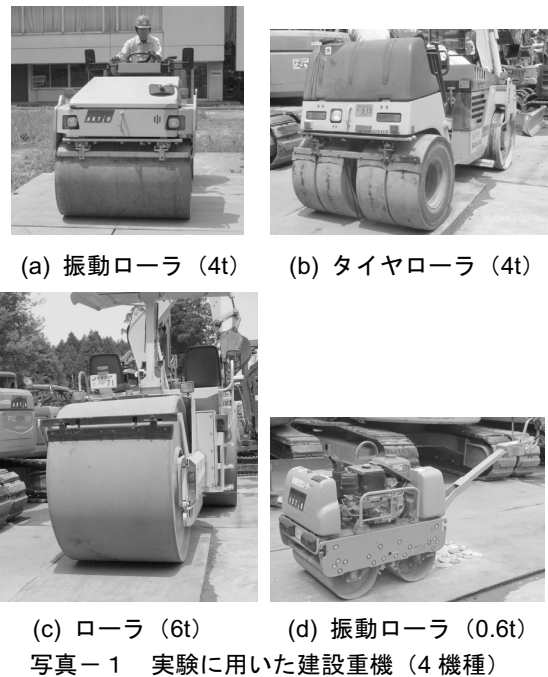


写真-1 実験に用いた建設重機（4機種）

な建設重機について検討した。

3.2 建設重機の種類

重量、車輪タイプ、および転圧方法（振動機能の有無）が異なる次の①～④の4機種を選定した。

- ①振動ローラ（型式 SW502：4t：鉄輪）
- ②タイヤローラ（型式 TW502：4t：ゴム輪）
- ③ローラ（型式 G06105：6t：鉄輪）
- ④振動ローラ（型式 MRH600DSA：0.6t：鉄輪）

選定した各建設重機の外観を**写真-1**（a）～（d）に示す。

3.3 実験の方法とその条件

基本的な実験条件を同一にするため、鉄板を敷いて実験を行った。実験に用いた貝殻は、実施工を想定した場合に大量の入手が可能なホタテ貝とした。鉄板上の1m四方の範囲に貝殻を1段、または2段

表－1 実験ケースごとのパラメータ

実験ケース	重機の種類	パラメータ					
		巻き出し厚さ		貝殻設置		振動有無	
		1段	2段	表	裏		
ケース1	①振動ローラ(4t)	○	—	○	—	○	—
ケース2	②タイヤローラ(4t)	○	—	○	—	○	—
ケース3	③ローラ(6t)	○	—	○	—	○	—
ケース4	①振動ローラ(4t)	○	—	○	—	—	○
ケース5	④振動ローラ(0.6t)	○	—	○	—	—	○
ケース6	①振動ローラ(4t)	○	—	—	○	○	—
ケース7	①振動ローラ(4t)	—	○	○	—	○	—

(2枚重ね)に設置し、写真－1に示す各建設重機によって車輪を5回通過させた。その後、破碎した領域の中央部より、破碎貝殻を採取し、粒度試験を行った。表－1に実施した実験ごとのパラメータの組み合わせ一覧を示す。実施した実験ケースは7ケースである。粒度特性を検討するためのパラメータは、建設重機の種類、貝殻の巻き出し厚さ、貝殻の設置方法(貝殻の表向き、裏向き：写真－2、写真－3)、振動の有無である。貝殻は表向きを基本とし、ケース6のみ裏向きに設置し破碎した。



写真－2 貝殻1段(表向き)の設置状況



写真－3 貝殻1段(裏向き)の設置状況

3.4 実験の結果

(1) 車輪タイプによる影響

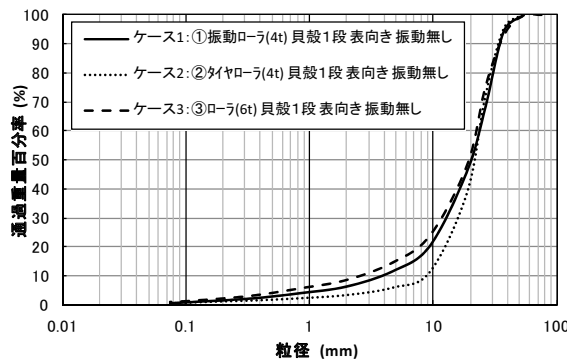
図－2のケース1とケース2は、車輪タイプの異なる建設重機(重量4t)で5回の転圧を行い破碎した時の粒径加積曲線を示す。ケース2に示すタイヤローラ(4t)の振動の無い転圧の場合、細粒分が少なく、細かく破碎できていないことがわかる。タイヤローラのゴム輪より鉄輪の方が、効率よく細かく破碎できることがわかった。

(2) 重量による影響

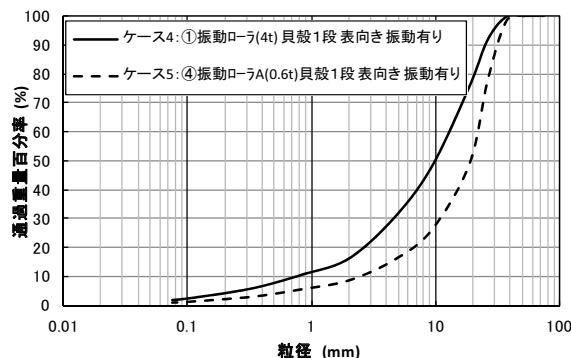
図－2のケース1の振動ローラ(4t)の振動無しで転圧した場合、およびケース3のローラ(6t)で振動無しで転圧した場合は、重量の重いケース3の方がより細かく破碎しているものの、この程度の重量比(6t/4t=1.5)では破碎には大きな影響を及ぼさないことがわかる。しかし、図－3に示すとおり、建設重機の重量比(4t/0.6t=6.7)が大きい、ケース4の振動ローラ(4t)の振動有りで転圧した場合とケース5の振動ローラ(0.6t)の振動有りで転圧した場合を比較すると、建設重機の重量が重いケース4の方が細かく破碎されることがわかる。

(3) 振動による影響

写真－4と写真－5には、貝殻を1段に設置して、振動ローラ(4t)によって5回転圧した時の振動無し(ケース1)と有り(ケース4)の場合の貝殻破碎状況を示す。図－4は両ケースの粒径加積曲線を示したものである。振動有りの場合は、振動無しに比較して、より細かく破碎されていることがわかる。振



図－2 各建設重機で5回転圧(振動無し)した時の粒径加積曲線



図－3 各建設重機で5回転圧(振動有り)した時の粒径加積曲線

動を与えることで、破碎した大小の貝殻がランダムに再配置されることになり、各貝殻間に空隙ができ、細かく転圧破碎されやすくなったものと推察される。

以上より、効果的な貝殻の破碎法としては、転圧と同時に振動を与えながら破碎することが適している。



写真-4 貝殻1段で5回転圧（振動無し）



写真-5 貝殻1段で5回転圧（振動有り）

(4) 貝殻の設置方法による影響

貝殻の設置方法（巻き出し方法）が粒度特性に及ぼす影響を検討するために、貝殻を表向きと裏向きに配置して破碎した結果を図-5に示す。両者の粒度加積曲線はほぼ同じであり、貝殻の配置方法は破碎貝殻の粒度特性にほとんど影響しないことがわかる。実施工を想定した場合、貝殻の巻き出し時に貝殻は表裏混在するが、その混在は破碎後の粒度特性にはほとんど影響しないと考えられる。

(5) 貝殻の巻き出し厚さによる影響

貝殻の巻き出し厚さを変化（1段と2段重ねの2種類）させた状態で5回転圧した結果を図-6に示す。振動ローラ（4t）振動無しの1段（ケース1）と2段（ケース6）では、ほぼ同様の粒度加積曲線が得られている。この程度の厚さの差であれば、巻出し厚さに関係なく同様に破碎されていることがわかる。

以上のことから、より細かく貝殻を粉碎できる機種として、鉄輪であること、振動を与えること、および建設重機の重量が重いことが必要であり、選定した建設重機の中では、振動ローラ（4t）が最も効果的に貝殻を破碎できることがわかった。

4. 振動ローラ（4t）による破碎実験

4.1 実験概要

振動ローラ（4t）を用いた場合の、破碎貝殻の粒度特性を詳細に把握するために、貝殻の巻き出し厚さと転圧回数を変化させた実験を行った。1m 四方

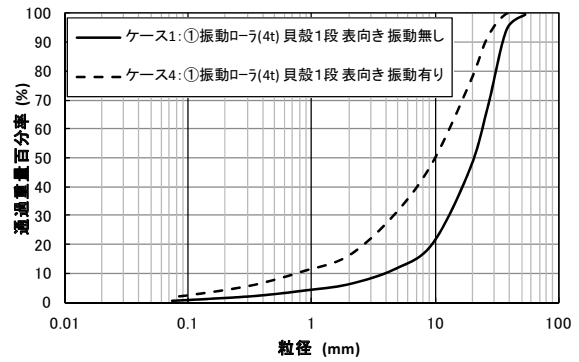


図-4 振動ローラ（4t）の振動の有無による粒度加積曲線

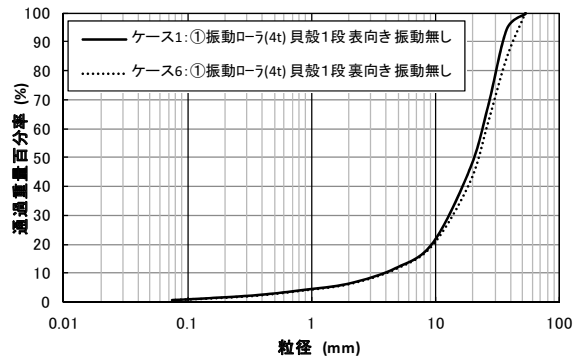


図-5 貝殻の設置方法の差異による粒度加積曲線

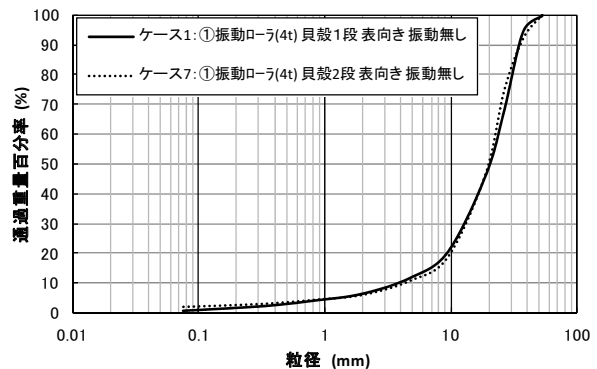


図-6 貝殻を2段重ねで破碎した時の粒度加積曲線

表-2 実験条件

		貝殻巻き出し厚さ			
		3cm	6cm	12cm	20cm
転圧回数 (回)	6	○	○	○	—
	12	—	○	○	○
	18	—	○	○	○
	24	—	○	○	○

の領域に、設定した巻き出し厚さになるように貝殻を設置し、振動ローラ（4t）により転圧破碎（振動有り）を行った。その後、破碎した領域の中央部より、破碎貝殻を採取し、粒度試験を行った。表-2に実験条件を示す。写真-6には、貝殻を1m 四方

の領域に巻き出し厚さ6cmに積み上げた状況を示す。写真-7には、振動ローラ（4t）により6回転圧した後の貝殻の破碎状況を示す。

4.2 破碎実験結果

(1) 貝殻の巻き出し厚さによる影響

図-7～図-10には、転圧回数を一定（6、12、18、および24回）にした条件における、貝殻の巻き出し厚さを変化させた場合の破碎貝殻の粒径加積曲線を、図-1の①に示した粉砕機使用後、粒径0.85mm以下の細粒分を除去した粒径加積曲線（以下、基準曲線と記す）とともに示す。以下では、粒径0.85mm以下の粒径と基準曲線と交差する粒径に着目して考察する。

図-7は、転圧回数6回の場合に貝殻の巻き出し厚さを変化させた時の破碎貝殻の粒径加積曲線である。巻き出し厚さ3、6、および12cmの全ケースで、粒径加積曲線に大きな相違はなかった。重機破碎の貝殻はどれも粒径0.85mm以下の細粒分を10%程度、粒径10mm超の粗粒分を50%程度含んでいる。また、基準曲線と比較すると粒径1mm以下では領域内であるが、粒径1mm超では領域外になっている。

図-8は、転圧回数12回の場合に貝殻の巻き出し厚さを変化させた時の破碎貝殻の粒径加積曲線である。巻き出し厚さ6cmと12cmのケースは、ほぼ類似した粒径加積曲線を示している。粒径0.85mm以下の細粒分を15%程度、粒径10mm超の粗粒分を30～40%程度含んでいる。基準曲線と比較すると、粒径2mm以下は領域内であるが、粒径2mm超は領域外である。一方、巻き出し厚さ20cmのケースでは、粒径0.85mm以下の細粒分を8%程度、粒径10mm超の粗粒分を60%程度含んでおり、巻き出し厚さ6、12cmに比較して、十分に破碎されていない結果となっている。基準曲線と比較すると、粒径1mm以下は領域内であるが、粒径1mm超は領域外である。

図-9は、転圧回数18回の場合に貝殻の巻き出し厚さを変化させた時の破碎貝殻の粒径加積曲線である。巻き出し厚さ6cmのケースは、粒径0.85mm以下の細粒分の割合も20%程度と多く、粒径10mm超の粗粒分は20%程度と少ない。粒径3mm以下では基準曲線の領域内、粒径3mm超では領域外となっているが、基準曲線の領域内に近い分布が得られており、細かく破碎されていることがわかる。巻き出し厚さ12cmのケースは、6cmのケースと比較して粒径0.85mm以下の細粒分の割合はほぼ同様であるが、粒径10mm超の粗粒分が30%程度と多くなって



写真-6 貝殻の巻き出し厚さ6cmの状況



写真-7 振動ローラ(4t)による6回転圧後の貝殻の破碎状況

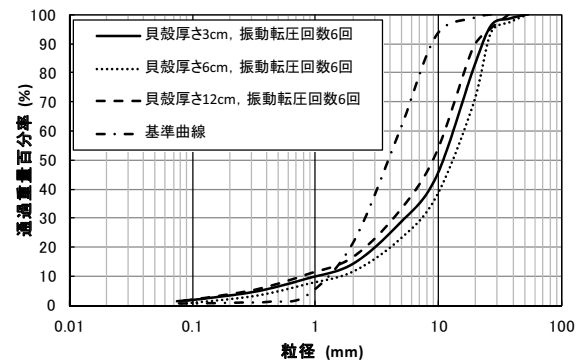


図-7 転圧回数6回で巻き出し厚さを変化させた時の粒径加積曲線

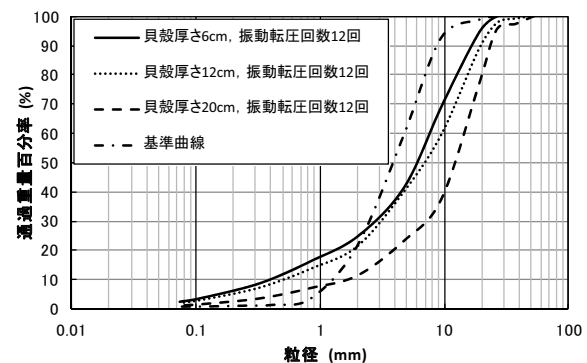


図-8 転圧回数12回で巻き出し厚さを変化させた時の粒径加積曲線

いる。両者を比較すると、貝殻の巻き出し厚さの薄い6cmの方が細かく破碎されていることがわかる。

図-10は、転圧回数24回の場合に貝殻の巻き出し厚さを変化させた時の破碎貝殻の粒径加積曲線である。巻き出し厚さ12cmのケースは、巻き出し厚さ6cmのケースより細かく破碎され、転圧回数6~18回(図-7~図-9)の傾向とこの部分のみが逆の結果を示している。これは、断定することは難しいが、貝殻の巻き出し時の不均一性により幾分細かく破碎された領域の試料を採取した可能性が考えられる。一方、巻き出し厚さ20cmのケースは、粒径0.85mm以下の細粒分を8%程度、粒径10mm超の粗粒分を60%程度含んでおり、巻き出し厚さ6、12cmに比較して、破碎されていない結果となっている。

以上より、貝殻の巻き出し厚さが薄いほど、貝殻は破碎されやすく、細粒化が進むことがわかる。

(2) 転圧回数による影響

図-11~図-13には、貝殻の巻き出し厚さを一定(6、12、および20cm)にした条件における、転圧回数を変化させた場合の破碎貝殻の粒径加積曲線を、基準曲線とともに示す。

図-11は、貝殻の巻き出し厚さ6cmの場合に転圧回数を変化させた時の破碎貝殻の粒径加積曲線である。転圧回数が少ない6回のケースでは、破碎が十分に行われておらず、粒径1mmの通過重量百分率は他の転圧回数12、18、および24回のケースの半分程度である。また、転圧回数が6回の場合には粒径1mm以下、12回の場合には粒径2mm以下、18、24回場合は粒径3mm以下が基準曲線の領域内となっており、転圧回数が多くなるにつれて、領域内に入る粒径が徐々に大きくなり、貝殻は破碎が進行し細粒分が多くなる傾向を示している。

図-12は、貝殻の巻き出し厚さ12cmの場合に転圧回数を変化させた時の破碎貝殻の粒径加積曲線である。転圧回数が増えるほど貝殻の破碎が進み、細粒分が多くなっている。転圧回数24回の場合には、転圧回数6、12、および18回と比較すると細粒分が特に多くなっているが、転圧回数の増加に伴い破碎が進行する傾向を示している。

図-13は、貝殻の巻き出し厚さ20cmの場合に転圧回数を変化させた時の破碎貝殻の粒径加積曲線である。転圧回数12、24回ともにほぼ類似した粒径加積曲線を示しており、粒径1mm以下では基準曲線の領域内、粒径1mm超では領域外となっている。また、重機で破碎した貝殻は、粒径0.85mm以下の細粒分を8%程度、粒径10mm超の粗粒分を60%程度含んでおり、基準曲線の10mm超の粗粒分が5%であったことと比較すると、破碎が進んでいない結果となっている。

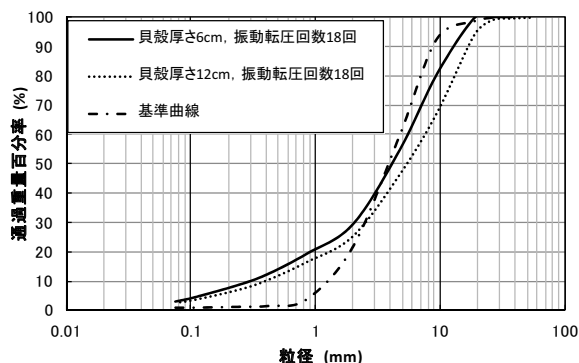


図-9 転圧回数18回で巻き出し厚さを
変化させた時の粒径加積曲線

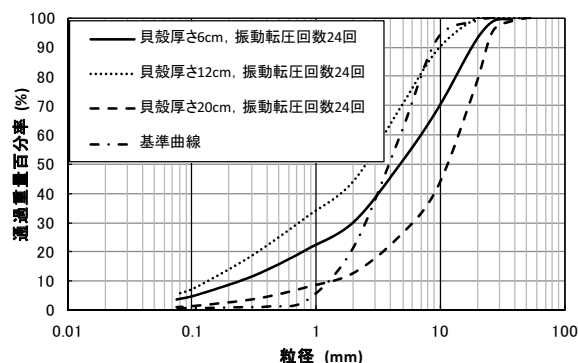


図-10 転圧回数24回で巻き出し厚さを
変化させた時の粒径加積曲線

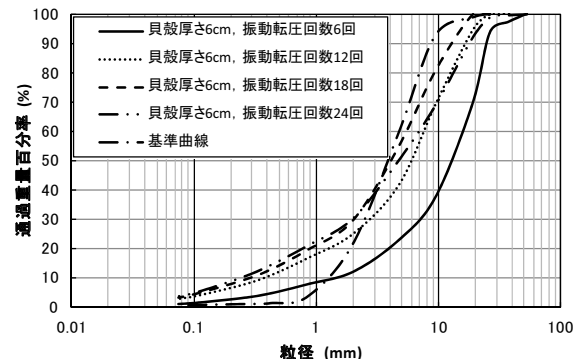


図-11 巻き出し厚さ6cmで転圧回数
を変化させた時の粒径加積曲線

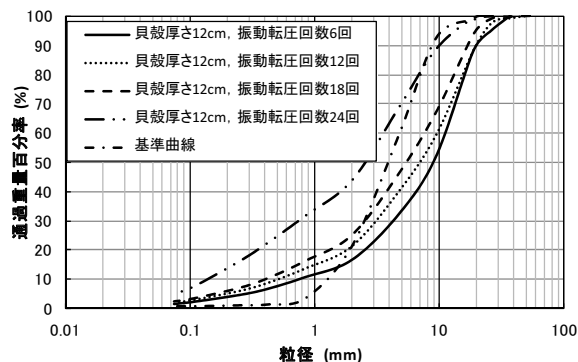


図-12 巻き出し厚さ12cmで転圧回数
を変化させた時の粒径加積曲線

以上より、貝殻の巻き出し厚さ6, 12cmの場合は、転圧回数の増加に伴い破砕が進行し、細粒分が多くなることがわかる。例えば、転圧回数が18, 24回では、基準曲線の領域内に近い分布が得られており、細かく破砕されていることがわかる。ただし、貝殻の巻き出し厚さが20cm程度になると転圧回数のある回数以上に増やしても貝殻の破砕はほとんど進行しないことがわかる。

(3) 破砕実験結果のまとめ

図-7～図-13に示す貝殻の巻き出し厚さと転圧回数を組み合わせた条件下の実験結果より、振動ローラ(4t)により貝殻を破砕する場合、貝殻の巻き出し厚さを薄くし、転圧回数を増やすことで、基準曲線の領域内となる粒径・粒度分布の破砕貝殻が得られるものと推定される。このことから、CBの礫材の代替材として重機で破砕した貝殻を利用できる可能性を示すことができたと考えられる。

なお、現地での施工性を考えると貝殻の巻き出し厚さは出来るだけ厚く、転圧回数も少ない方が効率的である。重機破砕の貝殻は、巻き出し厚さ20cmの場合を含めて、粉砕機で検証済みの基準曲線と比較すると、粒径1～3mm以上の粗粒分が領域外となるが、粒径0.85mm以下の細粒分が比較的多い。細粒分がある程度含まれれば砂の混入を防げ、CBの礫材の代替材に適合する可能性があり、今後実験によって検証していく予定である。

5. 結論

本研究では、建設重機により破砕した貝殻を、CBの礫材の代替材として利用可能とするための施工方法と現場での品質管理法の確立を目的に、貝殻の巻き出し厚さと建設重機による転圧回数を組み合わせた条件下の実験で得られた破砕貝殻の粒度特性を把握した結果について述べた。主な結論は以下に示すとおりである。

- ①より細かく貝殻を粉砕できる建設重機の機種条件として、鉄輪であること、振動を与えること、および建設重機の重量が重いことが必要であり、本研究で用いた4種類の建設重機の中では、振動ローラ(4t)が適切である。
- ②貝殻を表向き、および裏向きに設置し、建設重機で破砕した後の粒径加積曲線を比較した結果、両者に相違はほとんどない。実施工を想定した場合、貝殻の巻き出し時に貝殻は表裏混在するが、その混在は破砕後の粒度特性にはほとんど影響しないと考えられる。
- ③貝殻の巻き出し厚さが薄いほど、貝殻は破砕さ

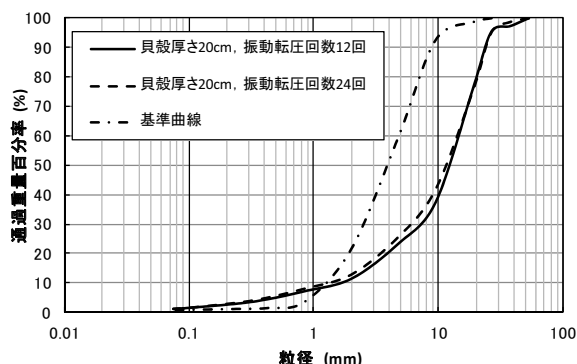


図-13 巻き出し厚さ20cmで転圧回数を変化させた時の粒径加積曲線

れやすく、細粒化が進む。

- ④貝殻の巻き出し厚さ6, 12cmの場合は、転圧回数の増加に伴い破砕が進行し、細粒分が多くなる。
- ⑤貝殻の巻き出し厚さが20cm程度になると転圧回数のある回数(本実験では12回)以上に増やしても貝殻の破砕はほとんど進行しない。
- ⑥貝殻の巻き出し厚さ6, 12cm程度であれば24回程度の転圧で基準曲線に近い粒度分布が得られる。転圧回数を増やすことで基準曲線の領域内の粒度分布にできる可能性が高い。
- ⑦貝殻の巻き出し厚さを薄くし、転圧回数を増やすことで、基準曲線の領域内に入るような粒径・粒度分布を有する破砕貝殻が得られると推定され、CBの礫材の代替材として重機で破砕した貝殻を利用できる可能性を示すことができた。
- ⑧貝殻の巻き出し厚さ20cmでは、10mm以上の粗粒分の粒径が基準曲線より多く含まれているが、0.85mm以下の細粒分も基準曲線より多く含まれる。破砕した貝殻の細粒分がある程度含まれれば、CBを構成する砂の混入を防げ、CBの礫材の代替材として利用することができる可能性がある。

謝辞：本研究は、(独) 科学技術振興機構 研究成果展開事業 A-STEP シーズ顕在化タイプ(課題番号；AS2321502E, プロジェクトリーダー；小林 薫)の援助を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 森井俊広：土のキャピラリー・バリア，地盤工学会誌，Vol.59, No.2, pp.50-51, 2011.
- 2) 中房 悟，西村友良，小林 薫，森井俊広：砂礫混合土の水分特性曲線について，2011年秋季講演会講演概要

- 旨, 日本地下水学会, pp.138-141, 2011.
- 3) 小林 薫, 中房 悟, 西村友良, 森井俊広: 水産系副産物(貝殻)の保水性に着目した土質代替材への利用に向けた基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.67, No.2, pp.I_382-I_387, 2011.
- 4) 中房 悟, 小林 薫, 森井俊広, 松元和伸: 水産系副産物(貝殻)を用いた砂混入防止型キャピラリーバリア

地盤に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 2012. (掲載決定)

- 5) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説—二分冊の1—, 第3編第7章 土の保水性試験, p.173, 2009.

Summary Capillary barrier (CB) soil layers are simply composed of a sandy layer and an underlying gravelly layer. Sand is likely to be inserted into the voids of gravel. The deterioration of performance of CB soil layers are therefore of concern while in service over a long period of time. The authors found a possibility of solving the technical problem by replacing gravel with crushed shells. Crushing the shells that are spread over the ground using heavy machinery while providing vibration eliminates the need for dedicated crushers and enables simultaneous roller compaction. The grading properties of shells crushed by heavy machines under varying conditions determined by the spreading thickness and the number of travels of vibrating roller were measured. The methods of selecting heavy machinery and of crushing shells for obtaining the appropriate alternative to gravel were identified.

Key Words: *Shells, Capillary barrier, Crush by Constructive Heavy Machinery, Particle size distribution curve*