

リサイクル材の岸壁裏埋材に関する基礎的検討

国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 正会員 ○伊藤春樹 竹田晃 上邨知輝
いであ(株) 井上憲 安岡啓一

1. はじめに

港湾における岸壁の裏埋材には、流通及び施工性等から雑石が適用されることが多い。一方、循環型社会経済システムの構築にあたり「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 月改訂・統合)」が整備され、利用可能なリサイクル材の用途と利用実績が拡大しつつある。しかし、拡大する裏埋材への適用について、港湾の施設の技術上の基準・同解説(以下、港湾基準)に則った動的解析(以下、FLIP)を実施し、耐震岸壁に求める性能を比較検証された事例が少ない。本稿では、愛媛県東予港の耐震岸壁の裏埋材を対象にリサイクル材(砕石、水砕スラグ、鉄鋼スラグ水和固化体、カルシア改質土)の適用に関する基礎的検討について報告する。

2. 検討概要

1) 検討ケース

裏埋材に適用可能であると考える再生資源材料(以下、リサイクル材)を抽出し、岸壁の裏埋材として雑石やリサイクル材を適用した場合の岸壁の耐震性能を照査した。検討ケースと主な物性値を表-1 に示す。なお、対象とするレベル 2 地震動は、当該施設への影響の大きい中央構造線断層帯地震動とした(図-2)。

表-1 検討ケースと主な物性値

裏埋材	単位体積重量(kN/m ³)		せん断強度		初期地盤せん断剛性	基準等
	γ_t	γ_{sat}	$C(kN/m^2)$	$\phi(^\circ)$	$G_{ma}(kN/m^3)$	
Case1:雑石	18.0	20.0		40	180,000	港湾技術基準
Case2:砕石	18.0	20.0		35	109,560	港湾技術基準
Case3:水砕スラグ(固結後)	14.5	17.5	25	35	272,760	水砕スラグ利用技術マニュアル(H19.2)
Case4:水和固化体(人工石)	14.2	18.2		35	79,660	鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル(H20.2)
Case5:カルシア改質土($q_u=100kN/m^2$)	17.2	17.2	50		73,760	土質試験結果より内挿にて設定

2) カルシア改質土の主な特徴

浚渫土に転炉系製鋼スラグを混合するカルシア改質土は、浚渫土の細粒分と含水比、混合方法によって強度にバラツキが生じる。そこで、現地浚渫土($F_c=99.1\%$, $w=101.1\%$, 工学的分類:粘土)とカルシア改質材を混合(容積混合率 10~40%)し、室内試験を行った。液状化強度(R_{L20})は、一軸圧縮強度 q_u に対応して 0.4 から 2.5 程度である(図-3, 4)。軸ひずみと繰返し回数の関係に着目すると、緩い砂のような急激なひずみの増加はなく粘性土に近い挙動である(図-5)。

一方、岸壁の耐震性能を検討する場合、粘性土でも液状化と定義されるひずみ(軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$)を超えれば大変形を引き起こす可能性があり、地震動(繰返し荷重)作用時の粘り強さの評価が重要である。ここで、累積損失エネルギー(式 1)を初期拘束圧にて正規化した

容積混合率(%)	10	20	30	40
$q_u(kN/m^2)$	5.75	143.7	352.5	507.5
$R_{L20}(DA=5\%)$	0.405	1.22	1.75	2.43

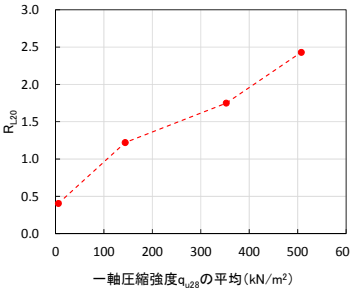


図-4 q_u - R_{L20} の関係

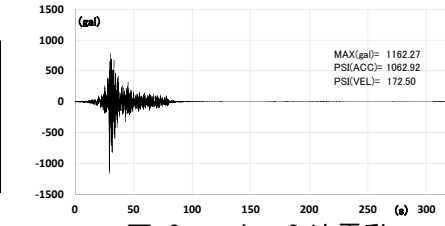


図-2 レベル 2 地震動

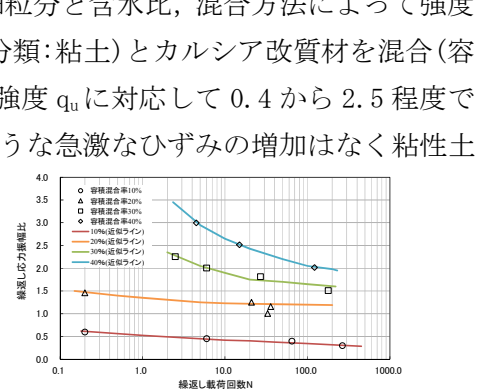


図-3 液状化抵抗曲線

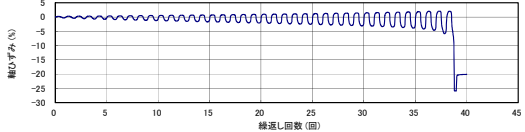


図-5 軸ひずみと繰返し回数の関係

キーワード 岸壁、裏埋材、リサイクル材

連絡先 〒760-0017 高松市番町一丁目 6 番 1 号 (住友生命高松ビル 2 階)
国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 TEL087-811-5662

正規化累積損失エネルギーを算定した結果、原ら¹⁾が示す砂礫土やまさ土よりも粘り強さがある(表-2)。

$$W(t) = \oint_f \tau(\gamma) d\gamma = \int_0^t \tau(t) \gamma'(t) dt \quad \dots \text{式 1}$$

3. 解析結果

1) 残留変形量

主に岸壁の耐震性能に着目した結果として、岸壁及び岸壁背後の残留変形量を表-3に示す。何れのリサイクル材においても岸壁及び岸壁背後の残留変形量は、雑石とほぼ同等であることが分かる。

2) 加速度応答特性

裏埋材の応答特性に着目した結果として、最大応答加速度の鉛直分布を図-6に示す。何れのリサイクル材においても工学的基盤からAc1層までは、入力された地震動は減衰傾向にある。カルシア改質土は、比較的大きなせん断強度を有するため剛性の大きい粘性土と同様、残留水位付近では加速度が伝わりやすい傾向にあると考えられる。

ターミナルビル等の建築物への影響に着目した結果として、地表面波の加速度応答スペクトルを図-7に示す。

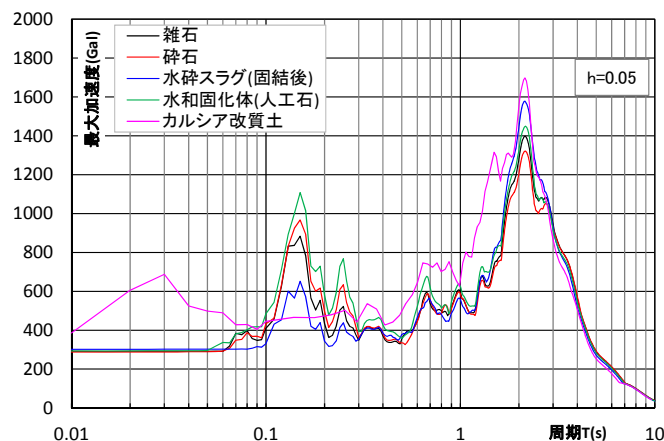


図-7 地表面波の加速度応答スペクトル

リサイクル材の種類によって、周期 0.12s～0.3s の応答スペクトルに 2 倍以上の差が生じる。周期 0.12～0.3s は、建築基準法施行令で示す建設省告示第 1798 号の略算法(式 2)で計算すると階高 3m の RC 構造では、2 階から 5 階建となる。また、基盤入力波と地表面波の加速度フーリエスペクトルを図-8に示す。一般的な港湾構造物に影響する周波数帯(0.5Hz～2Hz 程度)に比べて、建築物(RC 構造 2～5 階建)の固有周期に相当する周波数帯(3Hz～8Hz 程度)では、リサイクル材の種類による差が大きい。したがって、裏埋材上に建築物を想定する場合、リサイクル材の選定には、建築物の特性を考慮した慎重な検討が必要であると考えられる。

$$T = h(0.02 + 0.01\alpha) \quad \dots \text{式 2}$$

ここで、 h : 建築物の高さ(m)、 α : 柱及び梁の大部分が木造又は鉄骨造である階の高さの合計の h に対する比

4. おわりに

岸壁及び岸壁背後の残留変形量については、裏埋材に何れのリサイクル材を適用してもほぼ同等であり、岸壁の耐震性能は確保されていることが分かった。一方で、裏埋材上の建築物の加速度応答特性は、大きく異なる可能性があり、リサイクル材の選定には、建築物の特性を考慮した慎重な検討が必要であると考えられる。

参考文献 1) 原ら：三軸試験による砂礫材料の損失エネルギーの検討，土木学会第 55 回年次学術講演会

表-2 正規化累積損失得エネルギー

混合率(%)	10	20	30	40	砂礫	まさ土(ホートランド・東濃)
DA=2%	0.00～0.24	0.05～0.12	0.01～0.78	0.02～0.74	0.01～0.02	0.02～0.03
DA=5%	0.03～0.61	0.29～0.39	0.06～2.49	0.13～2.27	0.03	0.04～0.07
DA=10%	0.09～0.88	0.39～0.58	0.19～2.95	0.20～2.59	0.06～0.09	0.10～0.15

表-3 解析結果(残留変形量)

裏埋材	岸壁天端 残留水平変位(m)	岸壁 傾斜角(度)	ケーソン背後 の段差(m)	埋立地表面の 沈下量(m)
Case1:雑石	0.59	0.5	約0.55	約0.30
Case2:砕石	0.59	0.5	約0.45	約0.35
Case3:水砕スラグ(固結後)	0.47	0.3	約0.40	約0.10
Case4:水和固化体(人工石)	0.50	0.4	約0.30	約0.20
Case5:カルシア改質土	0.61	0.6	約0.30	約0.10

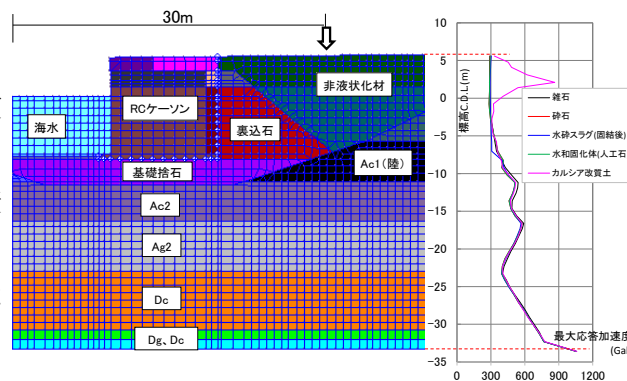


図-6 埋立部の増幅特性(岸壁法線から 30m)

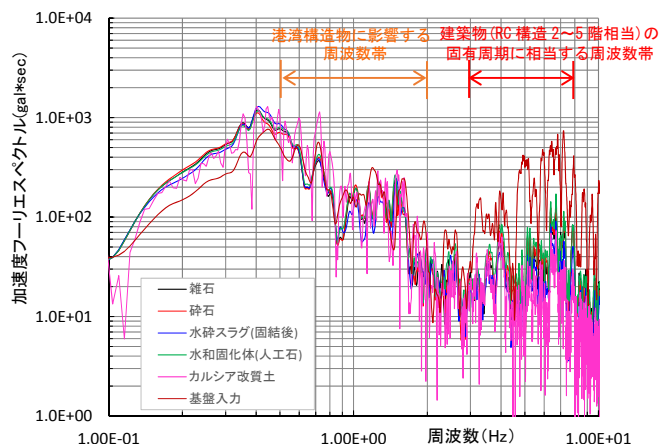


図-8 基盤入力波及び地表面波のフーリエスペクトル