

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630199

研究課題名(和文) 木片の混入率・腐朽性を考慮した災害津波堆積物の地盤材料としての有効利用の提案

研究課題名(英文) Effective use of soil generated from disaster waste as a geomaterial considering the decay process of wood chips

研究代表者

中野 正樹 (NAKANO, Masaki)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00252263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：災害津波堆積物に含まれる木片の混合率を3種類、密度を2種類の木片混じり試料を作製し、せん断試験を実施した。その結果、木片混合率が高く密度が低くなるほど、強度および初期剛性は低下し延性的なせん断特性を示した。

さらに災害津波堆積物中の木片の腐朽進行が強度に及ぼす影響を調べるため、腐朽菌を除去し腐朽し難くした木片混じり試料を、恒温恒湿の環境下に放置したところ(最大13か月)、含水比が等しければその強度は変わらなかった。一方腐朽が進行した木片混じり試料については、強度が低くなるものの、密度を調整した土で周りを囲むことで、その後恒温恒湿環境下に置いて(最大4か月)、強度の低下は見られなかった。

研究成果の概要(英文)：Shear strength tests were carried out on soil samples mixed with tsunami disaster waste deposits containing wood chips. 3 kinds of mixing rates were used on 2 kinds of soils of different soil densities and the results showed ductile shear behavior with a reduction in unconfined compressive strength and stiffness with the higher mixing rates of wood chips.

While taking into consideration of the decay process of wood chips, 2 kinds of tests were carried out. One was to mix the soil sample with sterilized wood chips and keep it in a constant temperature and humidity room before the shear test. For this, at fixed moisture content, the strength remained constant even after 13 months. The other was to mix and keep the soil with decaying wood chips in the same room before shear test and here, even though the strength decreased with the decay process, the compacted soil around the chips inhibited the chips from decaying and consequently, the strength was constant within the first 4 months.

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤材料学 締固め 一軸圧縮強さ 災害廃棄物 特殊土 有効利用

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震では大量の災害津波堆積物が発生した。その中で、除去しきれない木くず等の可燃物を含む分別土砂（以下、木片混じり土）に関しては、木片混じり土の性状が不明であることや土砂に含まれる木片腐朽の影響による沈下等が懸念されていることなど、その力学特性が十分に把握できておらず、地盤力学に基づいた解釈がなされていない。そのため、災害津波堆積物の有効利活用があまり進んでいないのが現状である。

2. 研究の目的

そこで本研究では、木片が含まれる災害津波堆積物を地盤材料として有効利用することを目指し、以下の2点を目的とする。なお、木片は同地区で採取された災害廃棄物由来の木片および建材廃棄物由来の木片の2種類を用いている。

(1)木片が混合した土の短期的な性質を調べる。すなわち、木片の腐朽は考慮せずに、木片の入った土のもつ物理・化学・力学特性を室内試験により調べる。そして、通常の土との比較を行う。

(2)(1)と違い、木片が混合した土の長期的な性質を調べる。すなわち、混合した木片が腐朽してゆく過程を考慮し、物理的性質と力学的性質を室内試験により調べる。そして、通常の土との比較を行う。

3. 研究の方法

(1)木片混じり土の物理・化学特性の把握

粒度調整した分別土砂、乾燥分別土砂に対し木片混合率4.0%、8.0%の木片混じり土を対象に、各種物理試験を実施する。

同様に、強熱減量試験を測定する。

(2)木片混じり土の力学特性の把握

3種類の木片混じり土に対し、締固め試験を実施する。

締固め度100%、木片混合率3種類の供試体を作製し、標準圧密試験を実施する。

締固め度として90%、100%の2種類、木片混合率3種類の供試体を作製し、一軸圧縮試験を実施する。

(3)腐朽菌を除去し腐朽しにくくした木片混じり締固め供試体の恒温恒湿の環境下での強度特性の把握

締固め度100%、木片混合率4.0%の供試体に対し、オートクレーブを用いて供試体表面、内部を高温高圧(120℃、20分間)で滅菌処理を行う。

木材腐朽菌（カワラタケ）を供試体上端にのせ、供試体内部まで菌が成長するように室温26℃に保った培養室内で放置する。

放置期間は2、5、10、11、13か月とした。

所定放置期間ののち供試体を培養室から取り出し、表面を観察して、一軸圧縮試験を行い、腐朽菌を接種した供試体の一軸圧縮強さを確認する。

(4)腐朽が進行した木片混じり試料の恒温恒湿の環境下での強度特性の把握

JIS K 1571の規定に従い、スギとブナの角材（縦20 mm、横20 mm、高さ10 mmの直方体）を分別土砂と混合し、締固めて供試体を作製、恒温恒湿の環境下での腐葉土槽に一定期間放置することで、供試体内の角材の質量が減少するかどうかを確認する。

木材腐朽菌を接種して腐朽した木片を混合させた試料に対し、密詰め供試体（締固め度90～95%）、緩詰め供試体（締固め度85%前後）を作製した。その後と同様、腐葉土内に供試体を埋め、1、3、4ヶ月で同様の一軸圧縮試験を実施した。

4. 研究成果

本研究では岩手県山田地区の分別土砂から5種類の試料をして試験に用いた。すなわち、【T9.5】回転式破碎混合装置により破碎混合し、9.5 mmでふるい選別した試料。【W4.0とW8.0】T9.5に災害廃棄物由来の木片（4.75 mmふるい通過試料）を、T9.5の乾燥重量比で4.0、8.0%混合した試料。【BW4.0とBW8.0】T9.5に建材廃棄物由来の木片を、4.0、8.0%混合した試料である。

(1)木片混じり土の物理・化学特性の把握

表1に試験に用いた5種類の木片混じり土の物理・化学試験結果を示す。土粒子密度は木片混合率が高い試料の方が小さくなった。この傾向は災害廃棄物・建材廃棄物由来の木片どちらにもあてはまる。木片の密度が土粒子の密度よりも小さいため、木片の割合が多い試料ほど土粒子密度の値が小さくなった。強熱減量はT9.5でも7%程度となり、W4.0およびBW4.0の方がさらに大きくなる。

表1 木片混じり土の物理・化学試験結果

試験試料	土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	礫分 (%)	砂分 (%)	細粒分 (%)	均等係数	曲率係数	工学的分類	強熱減量 (%)
T9.5	2.65	7.7	66.2	26.1	28.1	1.3	細粒分まじり砂 (SF)	7.1
W4.0	2.60	8.6	64.0	27.4	23.6	1.2		13.6
W8.0	2.53	9.1	65.6	25.5	30.0	1.8		8.1
BW4.0	2.57	4.4	67.6	28.0	23.3	1.5		
BW8.0	2.55	6.5	64.3	29.2	35.0	1.3		

(2)木片混じり土の力学特性の把握

締固め特性の把握

JIS A 1210 に準拠して実施して得られた締固め曲線を図1に示す。供試体の含水比の不均質を避けるため、含水比計測には供試体全体を用いた。木片混合率が多い試料ほど、最大乾燥密度は小さく、最適含水比は大きくなった。試験での感覚では、W8.0、BW8.0以外は通常の土と同様の締固め特性を有すると思われる。

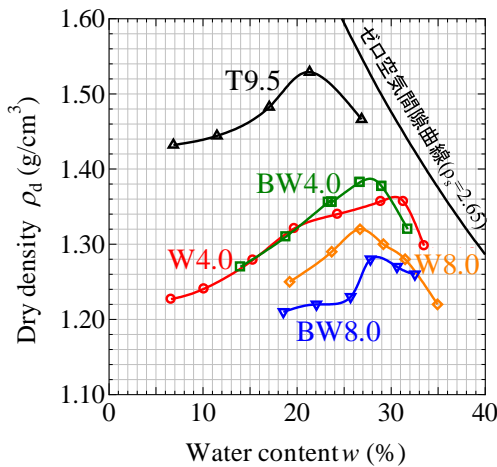


図1 木片混じり土の締固め曲線

圧縮特性の把握（標準圧密試験結果）  
 対象試料を T9.5、W4.0、BW4.0 の 3 試料として実施した標準圧密試験結果を図 2 に示す。載荷過程および再載荷過程ともに W4.0 および BW4.0 は同様の挙動を示し、比体積の減少が顕著であった。圧縮性については木片が多く混合した試料の方が大きい。

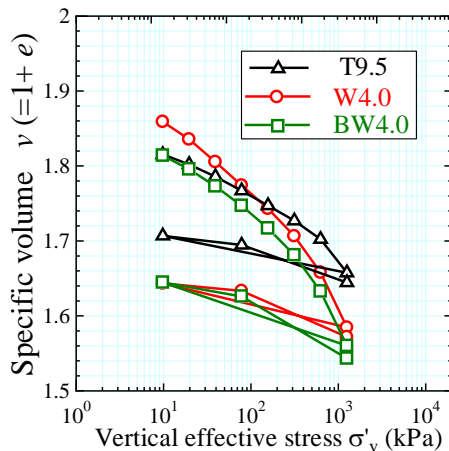
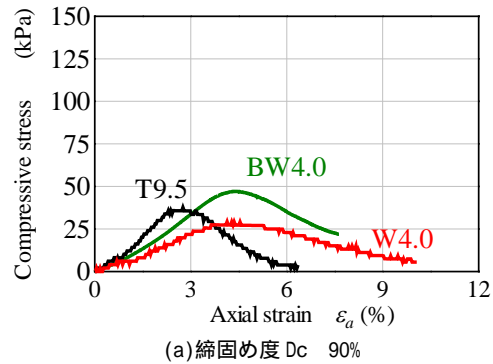


図2 木片混じり土の圧縮曲線

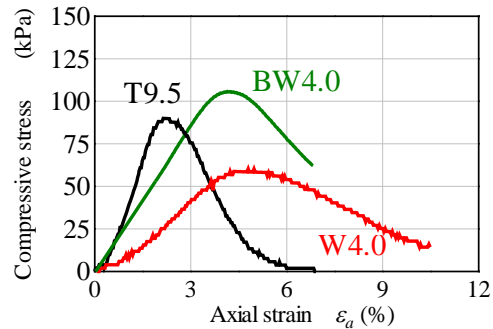
せん断特性の把握（一軸圧縮試験結果）  
 図 3 に T9.5、W4.0、BW4.0 を対象として、最適含水比・締固め度 Dc を 100% および 90% に設定し実施した一軸圧縮試験結果を示す。締固め度 Dc によらず一軸圧縮強さは BW4.0 と T9.5 とでほぼ同じ値か BW4.0 の方が若干大きくなっている。一方で W4.0 の一軸圧縮強さは、他の 2 試料よりも小さい。また同一試料の場合、締固め度 90% よりも 100% の方が強度は増加しており、木片混じり土は十分な締固めによって、安定した強度を発揮する。応力～ひずみ関係は、T9.5 よりも W4.0 および BW4.0 の初期剛性の方が小さく、延性的な挙動を示している。

BW4.0 と W4.0 の強度、応力～ひずみ関係で違いが現れた理由として、樹種の違いおよび木片の置かれた状況の違いが考えられる。災害廃棄物は針葉樹が 90% 以上を占めているが、建材廃棄物は針葉樹、広葉樹がほぼ同程度に混在している。また災害廃棄物は津波による

海水浸水を受け、その後分別処理して 1 年以上経過し、若干の腐朽進行も予想される。



(a) 締固め度 Dc 90%



(b) 締固め度 Dc 100%

図3 木片混じり土のせん断挙動

(3) 腐朽菌を除去し腐朽しにくくした木片混じり締固め供試体の恒温恒湿の環境下での強度特性の把握

図 4 に各腐朽期間における一軸圧縮試験の結果 (a) 一軸圧縮強さ  $q_u$  ~ 腐朽期間、(b) 含水比  $w$  ~ 腐朽期間) を示す。(b) に示すように室温 26℃ 一定に保った培養室内で放置しているため、供試体を培養瓶に入れて極力含水比が変化しないように注意したが 5、10、11 ヶ月は低い含水比となった。(a) に示すように、含水比が低いほど一軸圧縮強さ  $q_u$  は増加している。13 ヶ月後には初期含水比とほぼ等しい含水比となり、それに応じて初期の  $q_u$  とほぼ同じ値を示した。すなわち、木片の腐朽菌を除去した木片混じり締固め供試体は、供試体周り（今回は供試体上部）に木片腐朽菌が接種され、さらに腐朽菌の進行を促進する環境下であっても、含水比が等しければ、その一軸圧縮強さは変化しない。

写真 1 に腐朽 2 か月、腐朽 13 か月の腐朽菌の進行状況を示す。供試体上端において菌糸の広がりが見られ、腐朽が進行している様子が伺える。しかし一軸圧縮試験後の供試体の内部を詳細に観察したところ、菌糸の広がり確認できなかった。木片混じり土を滅菌し適切な締固め度で締固めることにより、外部からの菌糸は供試体内部へ侵入することができず、一軸圧縮強さも変化しなかったと考えられる。

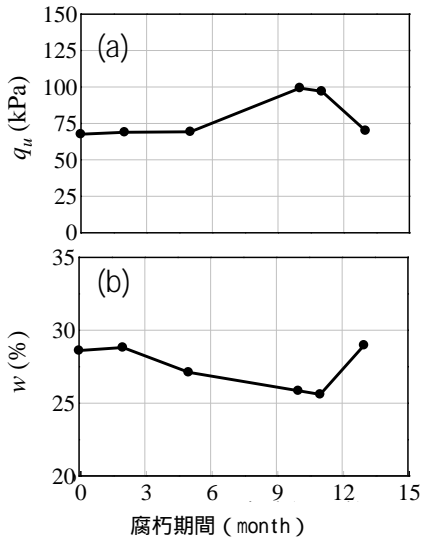
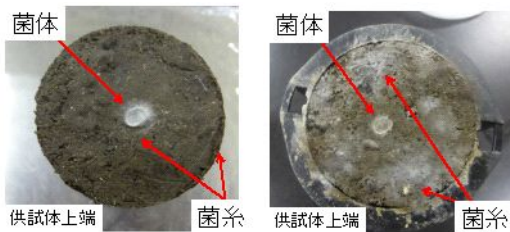


図4 腐朽期間に応じた一軸圧縮強さと含水比の変化



(a)腐朽期間2ヶ月 (b)腐朽期間13ヶ月  
写真1 供試体上端の腐朽進行状態

(4)腐朽が進行した木片混じり試料の恒温恒湿の環境下での強度特性の把握

木片角材を含む締固め供試体の腐朽試験  
様々な菌が存在し、菌の成長を促進する最適な環境下であるファンガスセラー室（恒温恒湿内に設置された腐葉土充填箱）に、木片角材を含む締固め供試体を埋め一定期間放置することで、供試体内の角材の質量が減少するかどうかを確認し、木片の腐朽の程度を調べた。図5に木片腐朽試験結果を示す。腐朽期間に着目するとブナ、スギともに腐朽が進行している。ブナについては腐朽が収束しつつあることが確認できる。またいずれの期間においてもスギよりブナの腐朽が進んでおり、十分に締固めた場合でも腐朽が見られる結果となった。

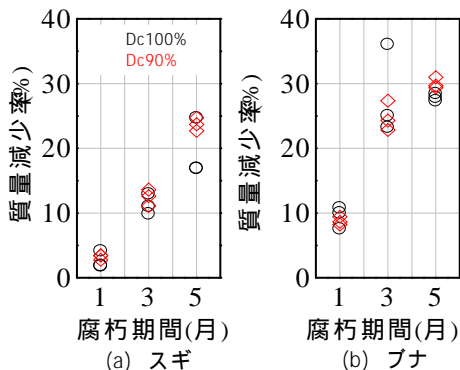


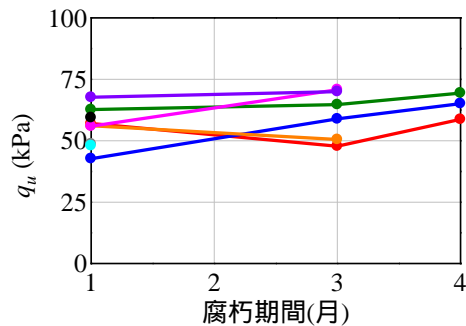
図5 締固め供試体の木片角材腐朽進行結果

腐朽の影響を考慮した締固め供試体による力学試験

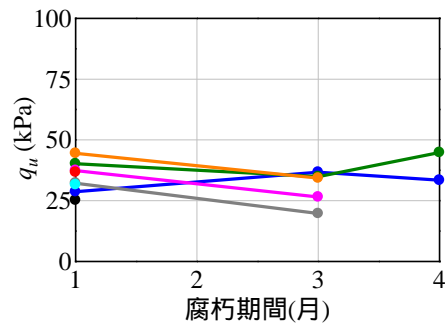
対象とした試料はT9.5および建材廃棄物由来の木片である。BW4.0で用いた同様の木片で、木材腐朽菌を接種してから1か月腐朽させた。腐朽した木片を混合させた試料を直径5 cm × 高さ10 cmの鋳鉄製のモールドに入れ、密詰め供試体（締固め度90～95%、12本）、緩詰め供試体（締固め度85%前後、8本）を作製した。その後、腐葉土内に供試体を埋め、1ヶ月経過後に掘り起し一軸圧縮試験を実施した。またこの月を基準の月とし、その後1、3、4ヶ月で同様の試験を実施した。図6に一軸圧縮試験で得られた一軸圧縮強さと腐朽期間の関係を示す。

密詰め供試体については、腐朽期間によって各供試体の一軸圧縮強さの推移はあるものの、いずれの腐朽期間においても一軸圧縮強さが40～75kPaの範囲内に分布している。緩詰め供試体についても、いずれの腐朽期間においても一軸圧縮強さが15～45kPaの範囲内に分布している。以上から本研究で実施した試験期間内では、密詰め供試体および緩詰め供試体の一軸圧縮強さについて腐朽による大きな変化はみられなかったといえる。

締固め100%でも、一軸圧縮強さが40～75kPaの範囲内であり、復興資材としての強度は高いとは言えない。固化材代替材などによる改良も視野に入れてゆく。またファンガスセラーにおける腐朽試験について、腐朽が既に十分収束しているかは不明である。したがってさらに木材の腐朽試験を継続していくことでより厳密に災害廃棄物分別土の有効利活用について検討していく。



(a) 密詰め供試体



(b) 緩詰め供試体

図6 腐朽期間における一軸圧縮強さの変化

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3件)

野々山栄人, 中野正樹, 新木毅, 浜島圭佑, 神野琢真, 吉村剛, 災害廃棄物分別土の木片腐朽過程を考慮した力学試験の試み, 第11回環境地盤工学シンポジウム論文集, 査読有, 11巻, 2015.

Nonoyama, H., Nakano, M., Araki, T. and Hamajima, K., Mechanical behaviour of soil-wood chip mixtures generated from earthquake waste, Proc. 7th International Congress on Environmental Geotechnics, 査読有, 2014, 527-532.

野々山栄人, 中野正樹, 酒井崇之, 岡野雄馬, 新木毅, 岡崎稔, 大塚義一, 濱谷洋平, 中島典昭, 災害廃棄物の地盤材料としての有効利活用に向けた検討, 第10回環境地盤工学シンポジウム論文集, 査読有, 10巻, 2013, 385-390.

〔学会発表〕(計 8件)

浜島圭佑, 中野正樹, 野々山栄人, 新木毅, 神野琢真, 災害廃棄物の木片腐朽過程を考慮した力学特性の把握に関する試み, 第50回地盤工学研究発表会発表講演集, 2015年9月3日, 北海道科学大学.

中野正樹, 吉村剛, 野々山栄人, 新木毅, 浜島圭佑, 神野琢真, 津波災害廃棄物有効利用のための木片混じり土の力学特性の把握, 第275回生存圏シンポジウム「生存圏ミッションシンポジウム」, 2015年2月16日, 京都大学宇治おうばくプラザ.

新木毅, 中野正樹, 野々山栄人, 浜島圭佑, 木材腐朽菌による腐朽促進させた災害廃棄物の力学特性の把握に向けた基礎的研究, 第49回地盤工学研究発表会発表講演集, 2014年7月15日, 北九州国際会議場.

浜島圭佑, 中野正樹, 野々山栄人, 新木毅, 岡崎稔, 大塚義一, 濱谷洋平, 中島典昭, 災害廃棄物の木片混合率に着目した力学挙動の把握, 第49回地盤工学研究発表会発表講演集, 2014年7月15日, 北九州国際会議場.

野々山栄人, 中野正樹, 新木毅, 浜島圭佑, 岡崎稔, 大塚義一, 濱谷洋平, 中島典昭, 腐朽過程を考慮した木片混じり土の力学特性の把握に関する研究, 地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて, 2014年5月14日, 東京電機大学.

中野正樹, 野々山栄人, 酒井崇之, 岡野

雄馬, 新木毅, 岡崎稔, 大塚義一, 濱谷洋平, 中島典昭, 災害廃棄物の破碎・コンクリートダスト混合による改良土の強度特性, 第48回地盤工学研究発表会発表講演集, 2013年7月25日, 富山国際会議場.

新木毅, 中野正樹, 野々山栄人, 酒井崇之, 岡野雄馬, 岡崎稔, 大塚義一, 濱谷洋平, 中島典昭, 災害廃棄物の破碎・混合による改良土の締固め特性と変形特性, 第48回地盤工学研究発表会発表講演集, 2013年7月25日, 富山国際会議場.

中島典昭, 中野正樹, 野々山栄人, 酒井崇之, 岡崎稔, 大塚義一, 赤神元英, 災害廃棄物の地盤材料としての有効利活用に向けた検討(災害廃棄物の選別・改質), 第48回地盤工学研究発表会発表講演集, 2013年7月25日, 富山国際会議場.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中野正樹 (NAKANO, Masaki)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号: 00252263

### (2) 研究分担者

野々山栄人 (NONOYAMA, Hideto)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号: 00624842

### (3) 連携研究者

片山新太 (KATAYAMA, Arata)

名古屋大学・エコトピア科学研究科・教授

研究者番号: 60185808

### (4) 研究協力者

大塚義一 (OHTSUKA, Yoshikazu)

(株)奥村組・土木本部土木統括部環境技術室

中島典昭 (OHTSUKA, Yoshikazu)

日本国土開発(株)・技術センター土質・地盤研究室

新木毅 (ARAKI, Takeru)

名古屋大学・工学研究科・博士課程前期課程

浜島圭佑 (HAMAJIMA, Keisuke)

名古屋大学・工学研究科・博士課程前期課程

神野琢真 (JIN-NO, Takuma)

名古屋大学・工学部・学部学生