

# 震災津波堆積物の石炭灰造粒物による植生基盤材への改質

中国電力株式会社 正会員 ○柳楽俊之, 中本健二, 樋野和俊  
宮城県環境生活部 正会員 佐々木 源  
広島大学大学院工学研究院 正会員 日比野忠史

## 1. はじめに

東北太平洋沖地震において発生した津波により、沿岸域に膨大な量の津波堆積物が堆積した。この津波堆積物には津波による海産物、下水汚泥等様々なものが多量に含まれており、そのまま土材料として利用することは土材料としての強度だけでなく、気温の上昇に伴って予想される悪臭や細菌繁殖等の衛生（生活環境）面を考慮すると適用が困難であるため、津波堆積物を有効活用するためのさまざまな技術が提案されている。その提案の一つとして石炭灰造粒物による津波堆積ヘドロの再資源化について報告<sup>1)</sup>されている。そのなかで、海岸堤防工事に津波堆積物が一部活用され始めているものの、まだその用途は限定的である。今後、地震により沈下した地盤の嵩上げ用として使用される事も検討されているが、緑化への適用性が不明瞭な状態にある。これは津波の影響を受けた津波堆積物は塩害による植物育成阻害の懸念があるためである。津波堆積物の活用にあたっては林野庁の基準（飽和透水係数、礫含有率、電気伝導度、pH）が掲げられており、このため、ガレキ選別後の津波堆積物についても用途が限定されてしまう。本稿では、石炭灰造粒物（以降「H i ビーズ」という）を用いた津波堆積物の緑化への影響について、室内試験を実施した結果を報告する。

## 2. H i ビーズの物性値

H i ビーズは、微粉炭燃焼方式の石炭火力発電所から産出するフライアッシュに高炉セメントを 10～15%添加し、転動造粒方式により平均粒径 10mm 程度に造粒したものである。試験に使用したH i ビーズは、津波堆積物との混合しやすさを考慮し、粒径 3mm 以下の小粒径のものを使用した。基本性能を表-1 に示す。

表-1 H i ビーズの基本性能

| 項目   | 特性                                                                         |
|------|----------------------------------------------------------------------------|
| 化学組成 | 含有量 CaO:11.7%,SiO <sub>2</sub> :50.4%,Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :5.8% |
| 環境性能 | 硫化水素 化学的吸着量:108mg-S/g                                                      |
|      | 栄養塩 除去率:PO <sub>4</sub> -P:34%,NH <sub>4</sub> -N:38%                      |
|      | ケイ酸イオン 溶出量:0.345mg/L/day(0-3mm)                                            |
| 物理性能 | 内部細孔量 40vol-%                                                              |
| 土質物性 | 湿潤密度 $\rho_t(g/cm^3)$ 1.269                                                |
|      | 乾燥密度 $\rho_d(g/cm^3)$ 0.988                                                |
|      | 土粒子密度 $\rho_s(g/cm^3)$ 2.289                                               |
|      | 間隙比 e 1.365                                                                |
|      | 締固め性能(A-c) $\omega_{opt}=43.1\%,\rho_{max}=1.076g/cm^3$                    |
|      | コーン指数 qc(kN/m <sup>2</sup> ) 14,306                                        |

## 3. 試験材料

試験に使用した土は、宮城県山元地区の現地震災ガレキ混入津波堆積物（以降「津波堆積土」という）、および石灰系改良土〔津波堆積土の含水比を低下させ、ガレキ選別を容易にすることを目的として石灰系固化材を添加（添加量 50kg/m<sup>3</sup>）したもの。（以降「石灰系改良土」という）〕について、H i ビーズ無添加およびH i ビーズ添加〔添加率（重量比）：5%，10%，20%〕した土である。物性値を表-2 に示す。飽和透水係数はH i ビーズを添加することで粒度が改善され、透水性がわずかに向上することが確認された。pHについてはH i ビーズの添加により上昇した。なお電気伝導度はH i ビーズ添加の有無で大きな差はみられなかった。

表-2 土の物性値

| 項目   | 単位           | 分析方法              | 津波堆積土        |                       |                       |                       | 石灰系改良土                |                       |                       |                       |
|------|--------------|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|      |              |                   | 無添加          | H i ビーズ<br>5%添加       | H i ビーズ<br>10%添加      | H i ビーズ<br>20%添加      | 無添加                   | H i ビーズ<br>5%添加       | H i ビーズ<br>10%添加      | H i ビーズ<br>20%添加      |
| 物理特性 | 土粒子密度        | g/cm <sup>3</sup> | JIS A1202    | 2.764                 | —                     | —                     | —                     | 2.698                 | —                     | —                     |
|      | 含水比          | %                 | JIS A1203    | 4.9                   | —                     | —                     | —                     | 8.2                   | —                     | —                     |
|      | 粒度分布         | —                 | JIS A1204    | 図-1参照                 | —                     | —                     | —                     | 図-1参照                 | —                     | —                     |
|      | コンシステンシー     | %                 | JIS A1205    | NP                    | —                     | —                     | —                     | NP                    | —                     | —                     |
|      | 強熱減量(300℃)   | %                 | JIS A1226準拠  | 1.0                   | —                     | —                     | —                     | 2.0                   | —                     | —                     |
|      | 強熱減量(750℃)   | %                 | JIS A1226    | 2.3                   | —                     | —                     | —                     | 5.4                   | —                     | —                     |
| 土壌特性 | IL比(300/750) | —                 | —            | 0.435                 | —                     | —                     | —                     | 0.370                 | —                     | —                     |
|      | 飽和透水係数       | cm/s              | JIS A1218    | $1.47 \times 10^{-3}$ | $1.52 \times 10^{-3}$ | $1.76 \times 10^{-3}$ | $1.93 \times 10^{-3}$ | $7.81 \times 10^{-4}$ | $1.56 \times 10^{-3}$ | $1.61 \times 10^{-3}$ |
|      | 礫含有率         | g/kg              | 篩い分け秤量       | —                     | 40                    | 74                    | 40                    | —                     | 100                   | 90                    |
|      | 電気伝導度        | ds/m              | JGS0212-2009 | 0.13                  | 0.17                  | 0.18                  | 0.22                  | 1.9                   | 1.8                   | 1.5                   |
|      | pH           | —                 | JGS0211-2009 | 7.7                   | 8.6                   | 8.8                   | 9.5                   | 8.4                   | 8.5                   | 9.0                   |

#### 4. 植生試験

試験に用いた植物は3種類（樹木系：ゴールドクレスト、果実系：トマト、葉物系：バジル）とした。

植生基盤は津波堆積土および石灰系改良土についてH i ビーズ無添加、H i ビーズ 10%添加、H i ビーズ 20%添加の6試料とし、プランターにて栽培を行った。生育環境・日照条件および施肥量・水量は同一とし、施肥量は以下のとおり。肥料は「IB 肥料 花・野菜用」

（三菱商事アグリサービス株式会社）を使用し、施肥量はゴールドク

レスト：15g、トマト：14g、バジル：9g とした。使用した栽培ポットの容量はゴールドクレスト：3.4L、トマト：3L、バジル：2Lとした。生育度合は目視観察（写真による記録）により行った。観察期間終了後に根の身長量、植物重量等を測定し、総合評価を行った。

#### 5. 植生試験結果

試験開始時および終了時（樹木系：17 週、果実系・葉物系：8 週）の各植物の幹丈・幹の太さについて表-3、生育度合（試験終了時の値－試験開始時の値）について図-2 に示す。

生育度合については、ばらつきはあるもののH i ビーズ添加の有無に係らず、幹丈・幹の太さともにほぼ同等の結果となった（写真-2,3）。試験で用いた津波堆積土の電気伝導度はH i ビーズ無添加のもので 0.13ds/m と林野庁の基準値〔0.5 以下（砂質土）、1.0 以下（その他）〕より低い値で

あることから、植物が塩害の影響をあまりうけなかったと推察される。その津波堆積土にH i ビーズを添加した場合でも、H i ビーズ無添加のものと同等に植物が生育したことから、H i ビーズの添加は植物の生育に影響をあたえないことが確認された。一方、石灰系改良土は電気伝導度が林野庁の基準値の2 倍近い値の土であり、塩類を多量に含んでいる可能性が高かった。しかし、植物の生育状況はH i ビーズの無添加・添加に係らず、生育は良好であった。このことから、植物の生育について、林野庁の基準値が定められている電気伝導度のみでは、植生障害について判断できない可能性が示唆された。

根の乾燥重量（表-4）については、ばらつきはあるものの、H i ビーズを添加した方の生育が良好であった。特に果実系については、H i ビーズの添加量の増加に応じて、根の発達（乾燥重量の増加）が確認された。理由として塩害（Na 障害）の解消が考えられた。このため、水溶性ナトリウムの測定を実施した。水溶性ナトリウムの測定結果を表-5 に示す。無添加と比較しH i ビーズ 20%添加の方がナトリウム分の減少が多いこと

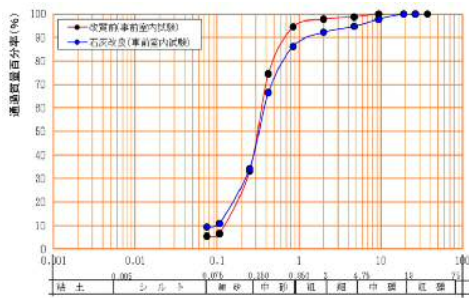


図-1 粒度分布

表-3 植生試験結果

【試験開始時】

(単位:cm)

| 項 目 |          | 津波堆積土 |                |                | 石灰系改良土 |                |                |
|-----|----------|-------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|
|     |          | 原泥    | Hiビーズ<br>10%添加 | Hiビーズ<br>20%添加 | 原泥     | Hiビーズ<br>10%添加 | Hiビーズ<br>20%添加 |
| 樹木系 | ゴールドクレスト | 45.0  | 45.5           | 43.0           | 45.5   | 48.0           | 45.5           |
|     |          | 6.4   | 6.5            | 7.7            | 9.2    | 7.8            | 10.0           |
| 果実系 | トマト      | 20.5  | 24.0           | 24.0           | 21.0   | 22.3           | 23.0           |
|     |          | 5.0   | 5.6            | 5.6            | 4.9    | 5.0            | 5.0            |
| 葉物系 | バジル      | 31.6  | 31.5           | 32.5           | 30.3   | 31.5           | 28.0           |
|     |          | 4.0   | 4.6            | 3.8            | 3.8    | 3.2            | 3.7            |

【試験終了時】

(単位:cm)

| 項 目 |          | 経過<br>日数      | 津波堆積土 |                |                | 石灰系改良土 |                |                |
|-----|----------|---------------|-------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|
|     |          |               | 原泥    | Hiビーズ<br>10%添加 | Hiビーズ<br>20%添加 | 原泥     | Hiビーズ<br>10%添加 | Hiビーズ<br>20%添加 |
| 樹木系 | ゴールドクレスト | 119日<br>(17週) | 56.5  | 59.0           | 57.0           | 56.5   | 58.5           | 56.0           |
|     |          |               | 7.8   | 7.0            | 8.2            | 10.4   | 8.6            | 10.6           |
| 果実系 | トマト      | 57日<br>(8週)   | 106.0 | 112.0          | 110.0          | 122.0  | 114.0          | 113.0          |
|     |          |               | 9.7   | 8.8            | 8.9            | 9.3    | 9.2            | 9.1            |
| 葉物系 | バジル      | 57日<br>(8週)   | 75.0  | 63.0           | 76.0           | 66.0   | 67.0           | 64.0           |
|     |          |               | 6.4   | 6.4            | 6.1            | 6.4    | 6.0            | 6.1            |

上段:幹文 , 下段:幹の太さ

上段:幹丈、下段:幹の太さ

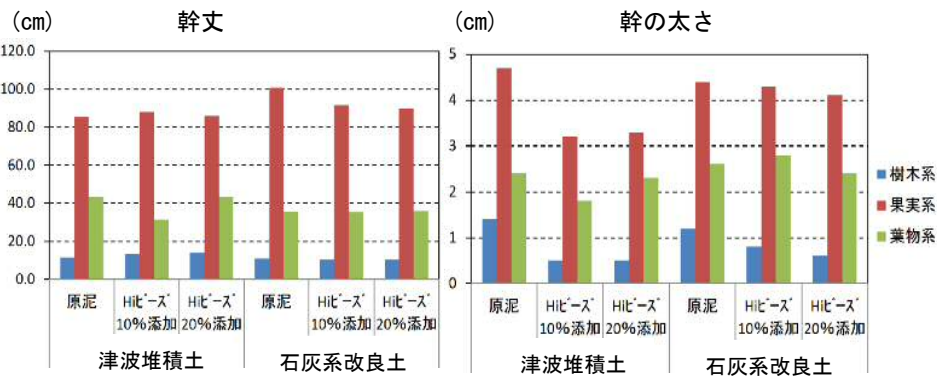


図-2 生育度合

が確認された。海水中に多量に含まれるナトリウムイオンは植生の養分吸収や代謝機能を阻害することがあり、また、土壌の単粒化や固結化など、土壌の物理性の悪化をひきおこす原因物質である。海水によって土壌中に多量にもたらされたナトリウムイオンがHiビーズに含まれるカルシウムにより、溶脱されやすくなった可能性が示唆された。

6. まとめ

本試験により津波堆積土をHiビーズにより改質した残土は緑化材としても問題ないことが確認された。このことから、土構造物への使用を目的にHiビーズの添加によって改質された津波堆積土は緑化基盤として転用することも可能であり、Hiビーズの適用範囲が広がることが期待される。電気伝導度が基準値（林野庁）を超えていても、生育にあまり影響をあたえない可能性が示唆された。また、水溶性ナトリウム量の試験結果よりHiビーズ中のカルシウムが植生の成長を阻害するナトリウムの排除に寄与した可能性が伺える。「農地の除塩マニュアル（農林水産省）」によると土粒子表面のナトリウムイオンはカルシウムイオンと置換することで効果的に排除できる。との記載がありHiビーズを添加することによる塩害防止効果が期待される。

津波堆積土の性状はバラツキが非常に大きく、対象土の性状に応じた対策を実施する必要があるが、その方法のひとつとして石炭灰造粒物による植生基盤材への改質が適用可能であると考えられる。

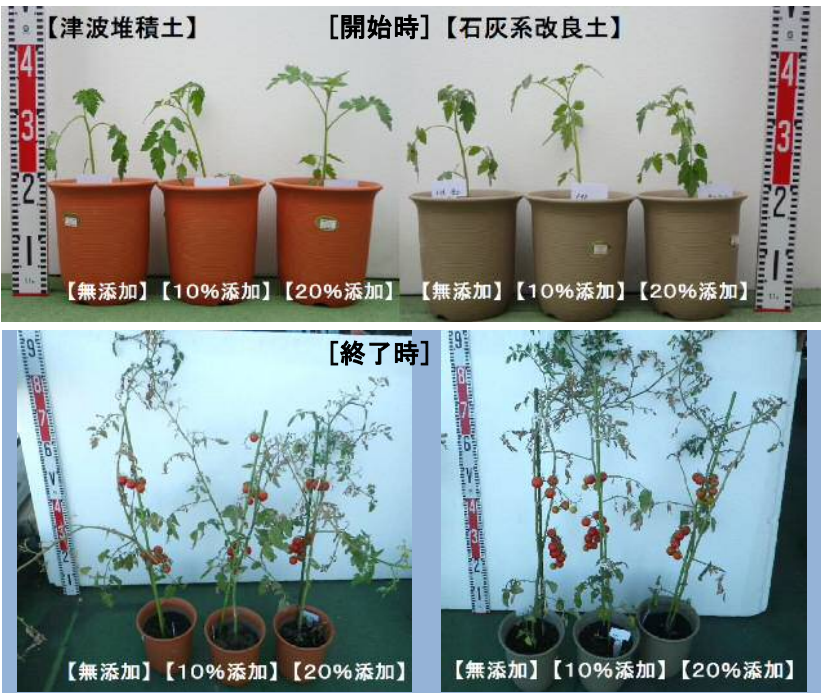


写真-2 葉物系生育状況

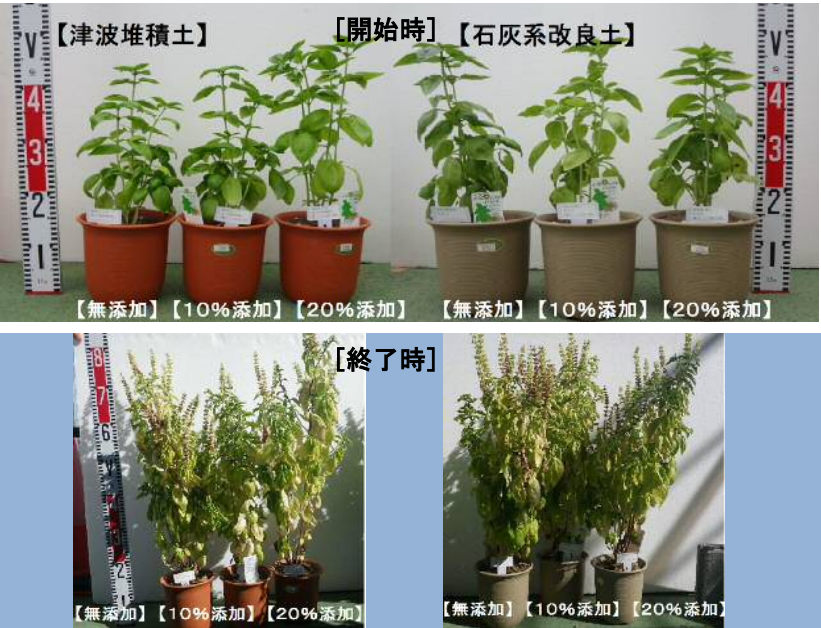


写真-3 果実系生育状況

表-4 根の乾燥重量

(単位:g)

|     | 津波堆積土 |                          |                          | 石灰系改良土 |                          |                          |
|-----|-------|--------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|
|     | 無添加   | Hiビーズ <sup>®</sup> 10%添加 | Hiビーズ <sup>®</sup> 20%添加 | 無添加    | Hiビーズ <sup>®</sup> 10%添加 | Hiビーズ <sup>®</sup> 20%添加 |
| 樹木系 | 21    | 14                       | 23                       | 22     | 30                       | 26                       |
| 果実系 | 7     | 18                       | 27                       | 3      | 4                        | 8                        |
| 葉物系 | 21    | 25                       | 28                       | 27     | 39                       | 21                       |

表-5 水溶性ナトリウム量

| 津波堆積土         | 無添加 | Hiビーズ <sup>®</sup> 20%添加 |
|---------------|-----|--------------------------|
| 試験開始時 (mg/kg) | 66  | 63                       |
| 試験終了時 (mg/kg) | 49  | 37                       |
| 終了時/開始時 (%)   | 74% | 59%                      |

7. 参考文献

1)樋野和俊・宮国幸介・齊藤 直：石炭灰造粒物による津波堆積ヘドロの再資源化について（その 1～3），土木学会第 67 回年次学術講演会，2012.9.