廃タイヤと粒状体廃棄物を併用した地盤造成法

清水建設㈱　正会員　○福武毅芳、堀内澄夫
名古屋工業大学　正会員　松岡　元、　劉　斯宏
日本植生㈱　非会員　川崎仁士

１．はじめに　廃タイヤのリサイクル率は約 90%になるが、将来大量の廃棄物となることが懸念される。従来の処理方法としては、燃料や炭素原料、ﾁｯﾌﾟ材や破砕材としての利用、潰した圧縮ブロックの利用[1]が行われていた。タイヤを原型のまま活用すれば安価でありかつ本来の特性が活かせると考えられるが、そうした再利用の方法はほとんど行われていない。ここではタイヤを原型のまま再利用し、ﾌｰﾌﾟﾃﾝｼｮﾝに強い特性を最大限に活かした地盤造成法を示す。

２．工法の基本原理　筒状の袋に粒状体を入れて、上から荷重をかけると、粒状体にダイレイタンシーが生じ、袋を押し広げる。このとき袋にはテンションが働き、粒状体を拘束する。粒状体は拘束力に応じて剛性が増加するので、結果的に**硬い杭状の改良体が形成**される。ここでは袋の替わりにタイヤを筒状に積上げた場合を考える。中詰材の緩みを無くすとともに、タイヤのフープテンションを活用して、長期間に渡りその拘束効果を持続させることがポイントとなる。図-1 には構造物下の地盤改良として用いた状態を示す。筒状改良体の上に構造物を構築する際には、基礎底面との馴染みを良くするために、地表面に砂利などを敷くと良い。タイヤサイズが異なり高さが不揃いになっても敷き砂利により地表を滑らかにできる。荷重が作用すると、余盛り部分の中詰材料がタイヤの中に押し込まれ、タイヤを押し広げようとする。タイヤにはもともとスチールワイヤーなどの補強帯が入っている。よって改良体は**フープテンションに対して非常に強く、中詰材に対してかなりの拘束応力**が期待できる。すなわち、**中詰材は相当硬くすることができ、大きな上載荷重にも耐え得る**。補強帯さえ切れていなければ、磨り減った古タイヤでも十分使用できる。

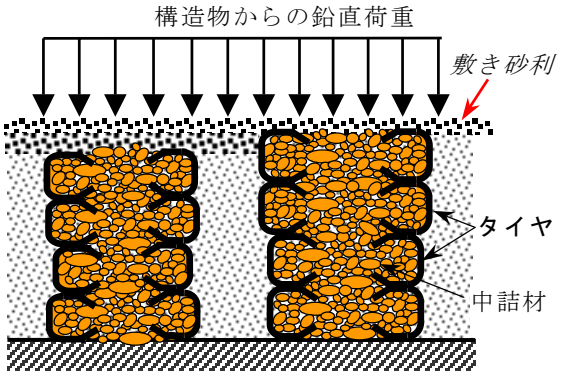
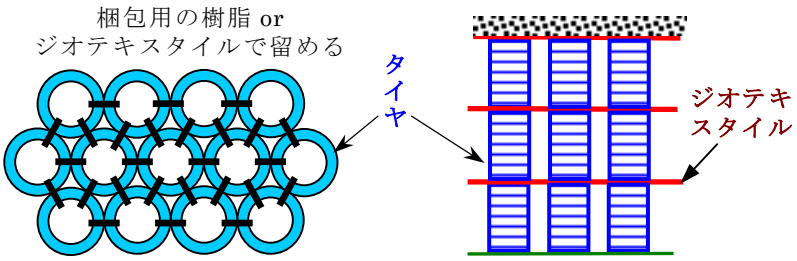


図-1　軟弱地盤の改良体の様子（断面図）



(a) 多数個の組合わせによるマッシブ構造（平面図）　(b) 数個ごとにシートを敷いた例（断面図）

図-2　安定性確保の方法

中詰用の粒状材料としては、ダイレイタンシーが生じる材料か突固めによる密度増加が期待できる材料であれば何でも良く、(1)砂や砂礫、(2)砕石、(3)コンクリート塊、(4)石炭灰、(5)スラグ類、(6)ガラス・陶器くず、(7)カキ殻、(8)軽量材料(ﾀｲﾔﾁｯﾌﾟ,ｽﾁﾚﾝ発泡体)、などが考えられる。「建設発生土」や「浚渫土砂」も粒径がある程度大きければ使用できる。中詰材に水膨張性ポリマーを混入することにより、浚渫土や建設汚泥のような軟弱土でも利用することができる。また、廃棄物である(3)～(7)や「タイヤチップ」などを中詰材に使用すれば、廃棄物のさらなる有効利用となる。

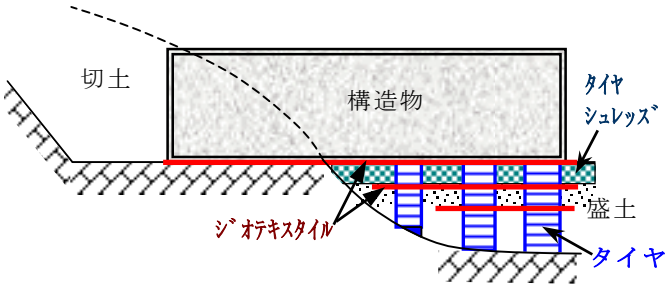


図-3　切り盛り境界の盛土部分への適用
（盛土地盤の安定化）

３．実構造物への適用にあたって　適用に当たってはまず改良体全体の**安定性**の問題がある。出来上がった筒状改良体は単独の杭として使用してもよい。しかしタイヤを高く積上げる場合は安定性の確保が必要である。タイヤを多数個連結し安定した円筒構造体は、貫通部材(鋼棒とネジ)を用いて作ることができる[2]。また、図-2(a)に示すように、梱包用の樹脂などにより数個づつ組にして使用してもよく、また多数個を連結したマッシブな構造体として使用しても良い。さらに数個ごとの間に**ジオテキスタイル**を敷く方法(図-2(b))もある。ジオグリッドなどの補強材を用いれば、補強材と中詰材の摩擦によりかなりのせん断抵抗が発揮され、補強材と中詰材が一体となった安定した改良構造体が構築できる。

キーワード　タイヤ、地盤造成、廃棄物、粒状体、フープテンション、拘束応力
連絡先　〒100-0011 千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル 27F　清水建設㈱ Tel 03-3508-8101 Fax 03-3508-2196

構造物の直下に使用した場合には改良体は杭(軸剛性が大きくせん断剛性が小さい剛性の異方性を持った杭)のような役目をする。このシステムに**地震荷重**が作用すると、円筒形改良体は**地盤の変形に追従して変形**する。地盤変形に素直に追従するので、通常の杭のように折れない。このとき、タイヤの中の粒状体は、繰返しせん断変形を受ける。中詰材の応力～ひずみ関係は非線形の履歴ループを描き、地震動のエネルギを吸収するので、構造物に入力される加速度の低減(減震効果)も期待できる。これはあたかも**「しなやかに変形するエネルギ吸収杭」**というべきものである。震動中のタイヤのずれは鉄筋などで防止[2)]できる。

図-3 には一つの適用例として、ジオテキスタイルやタイヤシュレッズと併用して切り盛り境界に建つ建物への施工案を示す。このような切土・盛土地盤では、常時や地震時に不同沈下を生じやすいので、本工法は有効と考えられる。この他に、道路盛土への適用[3)]などが有効と考えられる。

4．中詰材料の詰め方の模型実験　積上げたタイヤの中空部分には出っ張りがあり、空隙になりすい部分があるため、中詰材がタイヤの隙間に満遍なく詰めることができるか懸念される。そこで突固めによる中詰材の詰まり具合を調べるため、模型用ミニタイヤを用いた実験を行った。タイヤ寸法は、直径 4.8cm,開口径 1.7cm であり、実物の約 1/15 である。中詰材としては乾燥した豊浦砂(D_{50}=0.16mm)と凹凸のあるガラスビーズ(D=1mm)を用いた。突固め棒の直径は 3mm である。中の様子が分かるように 3 段に重ねたミニタイヤを半分に切断し、アクリル板を貼付けた。写真-1 にはガラスビーズを用いた場合の実験結果を示す。実験手順は、ビーズを 3 段積みタイヤの半分の高さまで自然落下させた後 30 回突固め、その後全高さまで自然落下させ 30 回突固めた。写真から分かるように、ビーズを自然落下させた時点では安息角で安定するため、大きな空隙が生じているが、突固めにより空隙は完全に無くなっている。この様子は豊浦砂を用いた場合でも同じであった[3)]。

(1)自然落下　(2)突固め 30 回　(3)自然落下　(4)突固め 30 回

写真-1　模型タイヤと凹凸ガラスビーズ(D=1mm)を用いた突固め充填実験

5．載荷試験　写真-2 に実物の廃タイヤの圧縮試験の様子を示す。タイヤ外径は 54.0cm、内径は 44.2cm である。試験体の作製は、タイヤ 1 個(1 段)ごとに突固め棒で砕石を詰めた後、2 個目、3 個目と順次充填し積上げていった。応力計算には外径を使用した。図-4 に応力～ひずみ関係を示す。同図中には土のうの圧縮試験結果も示してある。中詰材はどちらも砕石(D_{50}=8mm, D_{max}=20mm, 内部摩擦角度 ϕ＝44°)を使用した。土のうの圧縮試験はポリエチレン製袋を 3 段積にしている。タイヤは土のう袋と比べて同じひずみに対して 6 倍近い応力を発揮しており、CDM 改良体と比べても相当な耐力があることが分かる。タイヤの応力～ひずみ曲線は、わずかに逆ぞりの形状を示している。このことからも試験体の健全性・強靭性がうかがえる。

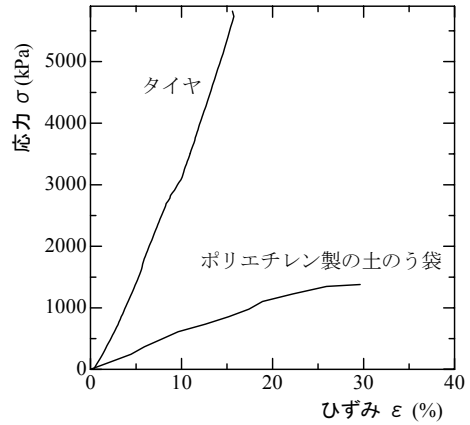


図-4 砕石入り実物廃タイヤ圧縮試験結果

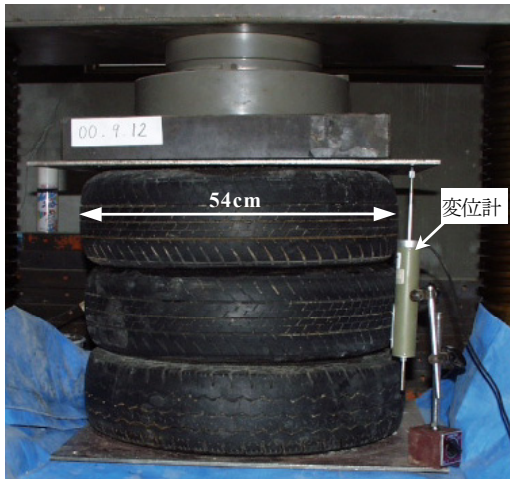


写真-2 砕石入り実物廃タイヤの圧縮試験

6．おわりに　提案した地盤造成工法は、強度的に優れており、さらに環境保全に寄与すると考えられる。施工性、コスト、耐久性[4), 5)]、大地震時の挙動は今後の検討課題である。最後に有益なご助言を頂いた、㈱藤井基礎設計事務所の藤井俊逸氏に感謝の意を表します。

参考文献：**1)** S.A.Hoenig:RECYCLED TIRES, International Erosion Control Association, 30th Annual Conference & Trade Exposition,1999.2　**2)** 特開2001-355768「古タイヤを利用した管およびその製造方法」,2001　**3)**福武ほか：廃タイヤと粒状体を利用した地盤造成・地盤改良方法,第38回地盤工学研究発表会,2003.　**4)**S.A.Hoenig: The use of whole tires for erosion control, fences, cattle feed lots houses and water saving on grassy areas, International Erosion Control Assoc. Nashville,TN, 1999　**5)** 福武ほか：廃タイヤを用いた･･･, 第5回環境地盤工学シンポジウム,地盤工学会,2003.7