廃タイヤと粒状体を利用した地盤造成・地盤改良方法

タイヤ、地盤改良、廃棄物

清水建設㈱　国際会員　福武毅芳、堀内澄夫
名古屋工業大学　国際会員　松岡 元、劉 斯宏
㈱藤井基礎設計事務所　正会員　○藤井俊逸
日本植生㈱　非会員　川崎仁士、真木伸一郎

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、地盤造成や軟弱地盤改良に供する方法を示す。

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。スチールワイヤー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。

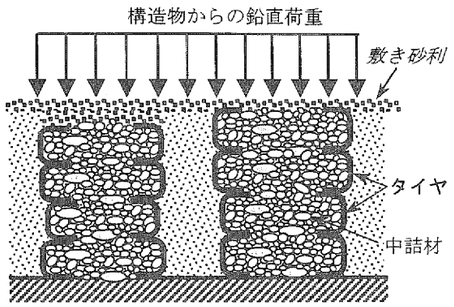
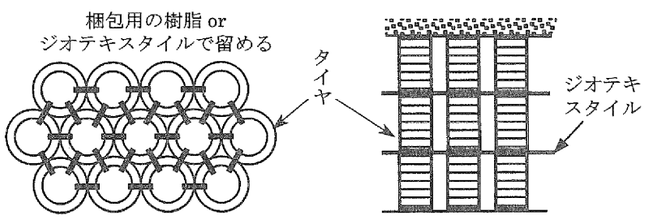


図-1　軟弱地盤の改良の様子（断面図）



(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、⑥ガラス・陶器くず、⑦カキ殻、⑧軽量材料（タイヤチップ，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③，④，⑤，⑥，⑦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。

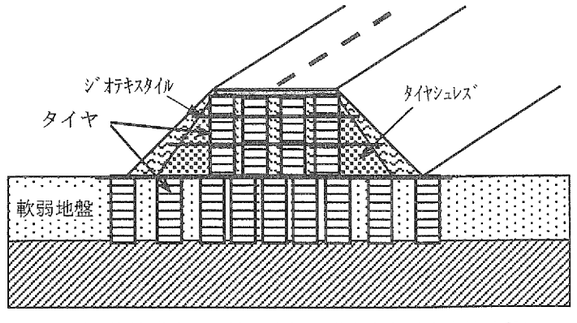


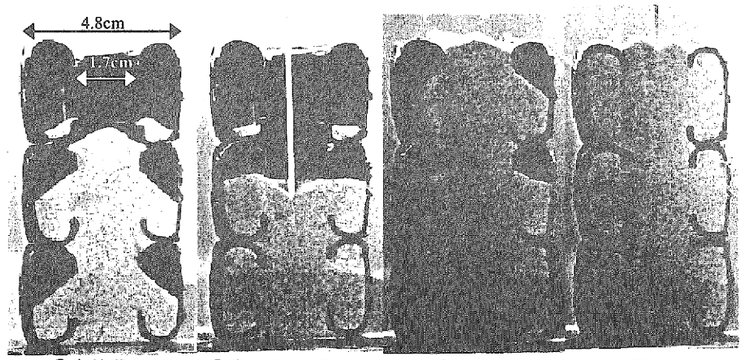
図-3　道路盛土への適用事例（盛土内と盛土支持地盤）

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。

構造物の直下に使用した場合には改良体は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。このときの中詰材の応力～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、道路盛土にジオテキスタイルやタイヤシュレッズと併用した場合を示す。この他に、切り盛り境界の盛土部分への適用などが考えられる。

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には豊浦砂を用いた場合の実験結果を示す。実験手順は、砂を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。写真から分かるよに、砂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。この様子はガラスビーズを用いた場合でも同じであった。



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　模型タイヤと豊浦砂による充填実験

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。

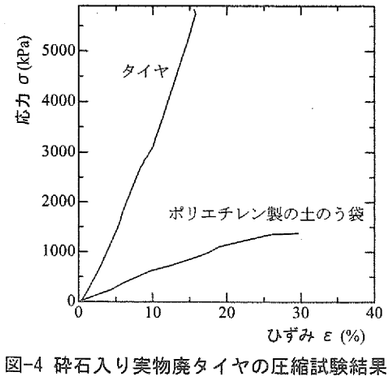


図-4 砕石入り実物廃タイヤの圧縮試験結果

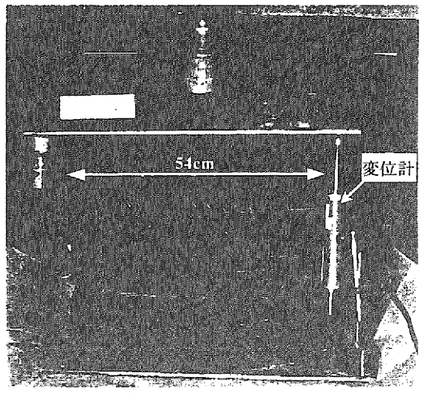


写真-2　砕石入り実物廃タイヤの圧縮試験

6．おわりに　提案した地盤改良工法は、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、大地震時の挙動は今後の検討課題である。最後に、本論文をまとめるに当たり有益なご助言を頂いた東京工業大学名誉教授吉見吉昭博士、清水建設㈱大槻明博士に感謝の意を表します。

参考文献：1) Stuart A.Hoenig:RECYCLED TIRES, International Erosion Control Association, 30th Annual Conference & Trade Exposition, 1999.02　2) 特開2001-355768「古タイヤを利用した管およびその製造方法」, 2001.12

Stable geostructure using recycled tires and granular materials, K.Fukutake,S.Horiuchi(Shimizu Corporation), H.Matsuoka,S.Liu(Nagoya Institute of Technology), S.Fujii(Fujii consulting & associates), H.Kawasaki,S.Maki(Nisshoku Corporation)