

CO₂削減のためのスギ丸太打設軟弱地盤対策実験の実施

Experiment on Soft Ground Improvement Using Cedar Log Piles to Reduce CO₂ Emissions

本 山 寛 ^{※1}	小 山 和 男 ^{※2}	勝 山 義 史 ^{※3}	原 田 進 ^{※4}
Hiroshi Motoyama	Kazuo Koyama	Yoshifumi Katsuyama	Susumu Harada
澤 正 武 ^{※5}	滝 波 真 澄 ^{※6}	荒 井 幸 夫 ^{※6}	沼 田 淳 紀 ^{※1}
Masatake Sawa	Masumi Takinami	Yukio Arai	Atsunori Numata
久 保 光 ^{※7}	吉 田 雅 穂 ^{※8}	外 崎 真 理 雄 ^{※9}	濱 田 政 則 ^{※10}
Hikaru Kubo	Masaho Yoshida	Mario Tonosaki	Masanori Hamada

【要旨】

地球温暖化防止対策は、今世紀前半には解決しなければならない喫緊の課題である。筆者らは、建設分野において大気中の二酸化炭素削減に貢献できる技術として、建設材料に木材を利用することを考えている。その一つが、スギ丸太打設による軟弱地盤対策である。

本報告では、実際に人工の埋土地盤を造成し、そこに実大規模のスギ丸太打設による地盤対策を行い、それによる大気中の二酸化炭素削減効果の検証を行った。その結果、工事により排出される二酸化炭素量よりも、地中に打設されたスギ丸太に貯蔵された二酸化炭素量の方が圧倒的に多く、工事を行うほど大気中の二酸化炭素削減に貢献できることが分かった。

【キーワード】 地球温暖化 二酸化炭素 軟弱地盤 スギ丸太 杭

1. はじめに

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; 気候変動に関する政府間パネル) 第4次評価報告では、温暖化にはもはや疑う余地がなく、20世紀半ば以降に観測された世界平均気温上昇のほとんどは人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が非常に高いことが示されている¹⁾。その一方で、京都議定書の約束期間が2008年より開始され、日本は1990年比6%の温室効果ガスの削減を約束しているが、1990年以降の温室効果ガスはむしろ増加し、2007年度では9.0%の増加(2009.4.30 環境省発表、確定値)であった。このように、温室効果ガスの削減は容易ではなく、あらゆる分野での対策が必要である。

筆者らは、建設分野において大気中の二酸化炭素削減に貢献できる方法として、建設材料に木材を利用することを考えている。しかし、利用にあたり木材腐朽が懸念されるため、今までに建設構造物等に使用されてきた木材の腐朽に関する研究・調査を行ってきた。その結果、地中の特に地下水位以下では長期にわたり木材の健全性が保たれることを明らかにしてきた²⁾。そこで、木材の利用先として地中利用を考え、丸太を地中に打設し軟弱地盤対策とする研究を行っている。

本報告では、実大実験の概要と丸太打設による二酸化炭素削減効果について述べる。

2. 地中カーボンストック

初めに、大気中のCO₂削減に対する木材利用の有効性について示す。

木材利用は森林伐採となるため地球温暖化につながるという誤解される場合がある。しかし、合法木材と間伐材を

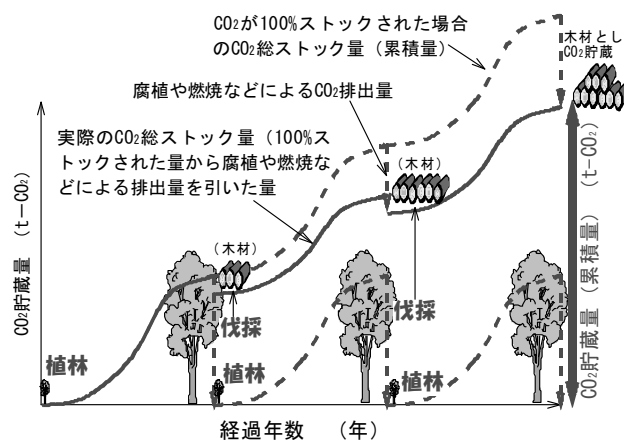


図-1 樹木の成長とCO₂ストック量

1. 技術研究所 第二研究室 2. 中日本土木支社 北陸土木事業部 3. 中日本建築支社 北陸建築事業部 4. 中日本土木支社 北陸土木事業部 旗護山トンネル作業所 5. 東日本土木支社 新幹線泉沢作業所 6. 土木事業本部 土木技術部 設計 G 7. 福井県 雪対策・建設技術研究所 8. 福井工業高等専門学校 9. (独)森林総合研究所 10. 早稲田大学

利用する限り、これは誤りである。図-1は、経過年数と樹木のCO₂ストック量の関係を模式的に表したものである。植林後、経過年数とともに樹木は大気中からCO₂（二酸化炭素）を吸収しC（炭素）を固定し成長する。その量は、ある段階まで行くと頭打ちとなる。その段階で樹木を伐採保存し新たに植林を行えば、樹木が成長した分だけさらに大気中のCO₂を吸収することができ、CO₂ストック量が増加する。伐採後の木材が燃えたり腐朽したりすれば、ストックされたCO₂を再び大気中に排出したことになるが、化石燃料と異なり、もともと大気中から吸収したものであるため大気中のCO₂の増加には寄与しない（カーボンニュートラル）。もし、木材の燃焼や腐朽によるCO₂排出量を小さくすれば、CO₂貯蔵（カーボンストック）量を増やすことができる。すなわち、植林や間伐を行い森林を持続的に成長させ、樹木の体積増大量の範囲内で木材を伐採しそれを長期間利用し続けられれば、大気中のCO₂削減につながることになる。筆者らは、長期間木材を利用する方法として地中利用を考え、丸太打設による軟弱地盤対策技術を開発している。

3. 実験概要

写真-1に実験ヤード造成時の写真、図-2に実験ヤードの概要を示す。実験ヤードは、良質な砂礫の地盤を、底面の幅5m、長さ20m、深さ4mとなるようにおおよそ1.0:1.0の法面勾配でトレンチを掘削し、そこをヘッドロ状の土で埋戻し人工的な埋土地盤を造成した。このような



(a) トレンチ掘削完了



(b) 軟弱土埋戻し状況

写真-1 軟弱地盤造成

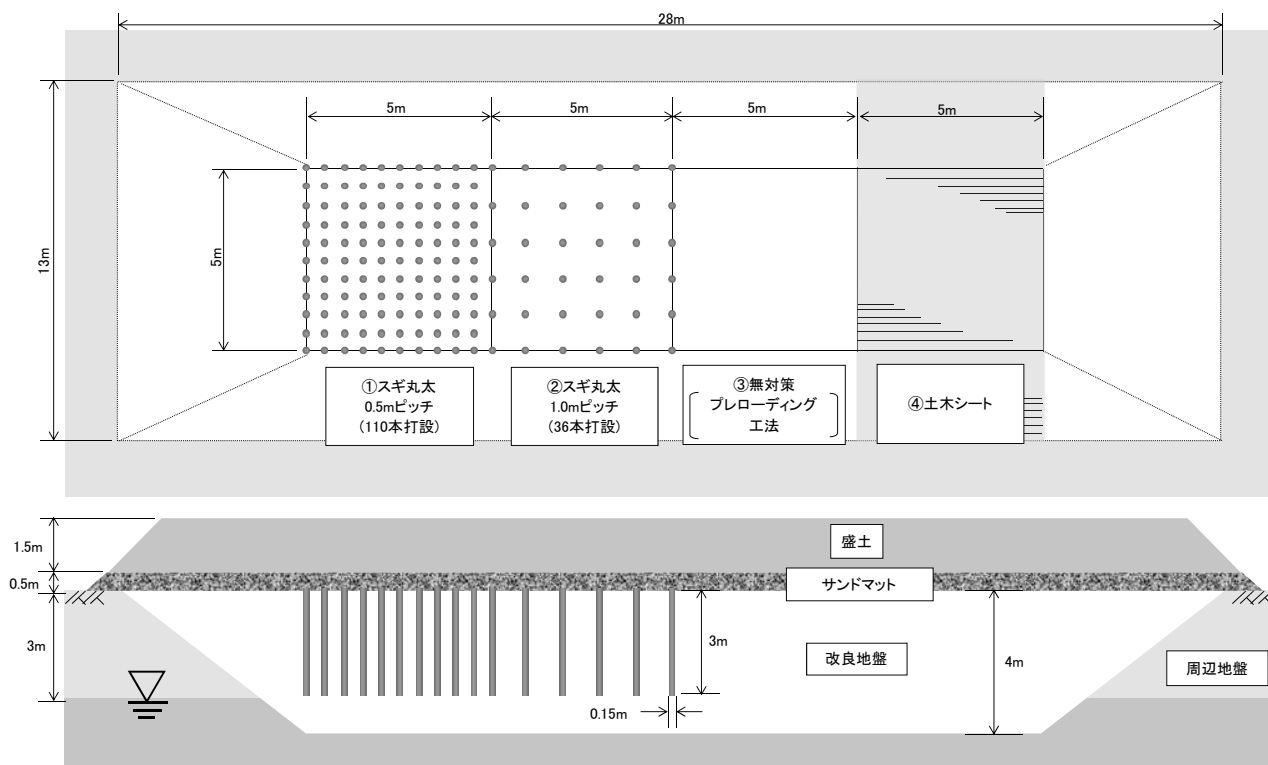


図-2 実験ヤードの概要

地盤に対し4つのエリアに区分し、以下に示す4種類の地盤対策を行った。

- ①丸太打設 (杭間隔 0.5m)
- ②丸太打設 (杭間隔 1.0m)
- ③無対策
- ④土木シート (サンドマット内 GL+0.3 の位置)

施工は、まず丸太打設エリアおよび無対策エリアでは、サンドマットを厚さ 0.5m 敷設した。丸太打設については、その後サンドマット上より実施した。土木シートエリアでは、厚さ 0.3m のサンドマットを敷設し、土木シートを敷いた後その上に厚さ 0.2m サンドマットを敷設

した。地盤対策後、サンドマットを締め固め、最後に荷重として 1.5m の盛土を施工した。

丸太打設エリアの設計は、丸太を摩擦杭として計算し、杭径と杭間隔の決定を行った。これより、実験では、直径 0.15m、長さ 3m のスギ丸太を使用した。杭間隔 0.5m エリアでは、安全率が約 2 であり、盛土荷重が丸太周面摩擦力の許容鉛直支持力に十分収まるような設計とした。一方、杭間隔 1.0m エリアでは、安全率が 1 を下回り、盛土荷重が丸太の周面摩擦力による許容鉛直支持力を上回る設計とした。なお、施工における丸太打設の所要時間は 1 本につき約 5 分であった。

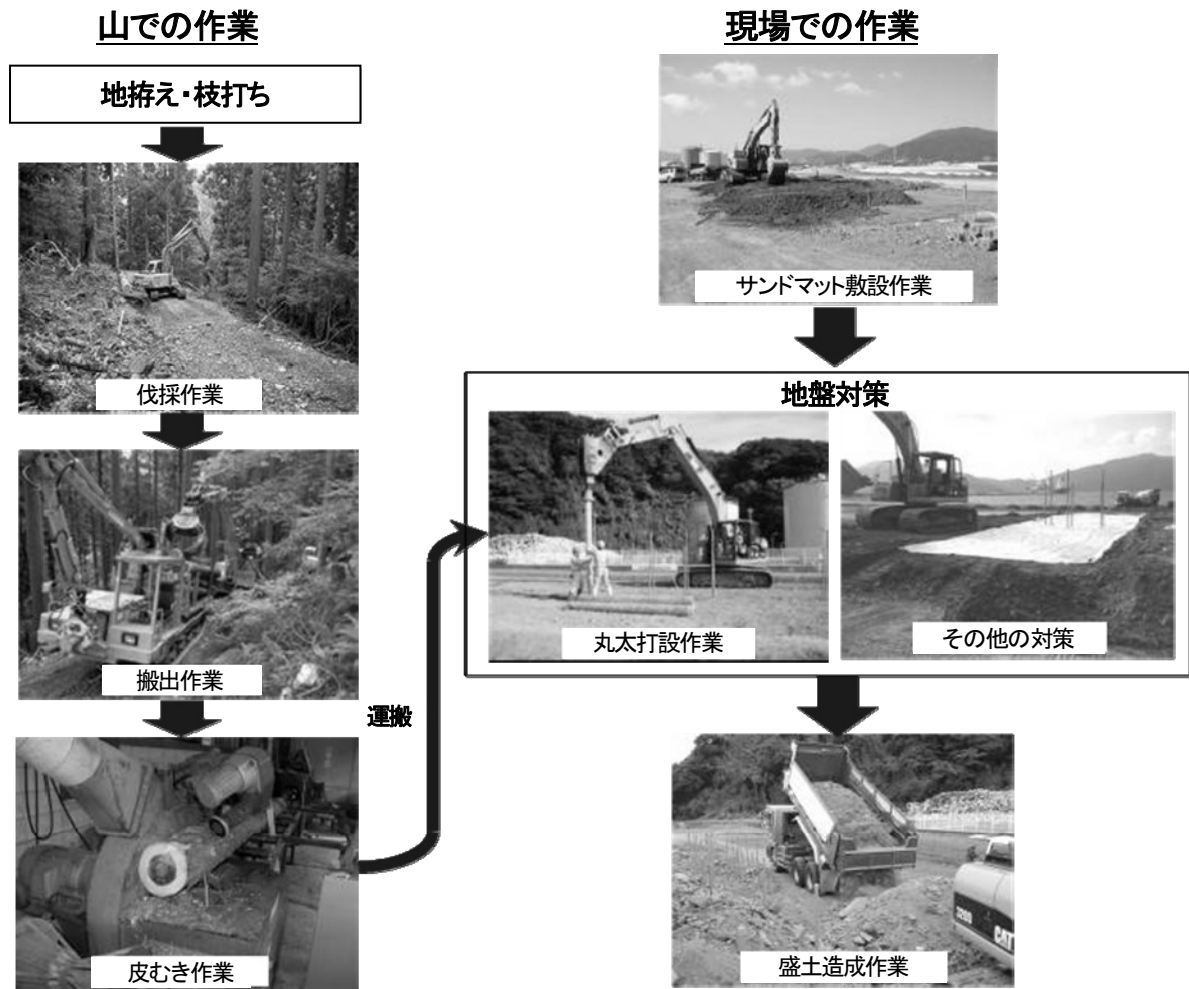


写真-2 丸太打設による地盤対策の主な作業



写真-3 盛土造成後

表一 1 スギ 1m³ 当たりの炭素貯蔵量 (二酸化炭素換算) ⁴⁾⁵⁾

スギ容積 密度 ⁵⁾ t-dm/m ³	1t 当たり 炭素量 ⁶⁾ t-C/t-wood	1m ³ 当たり 炭素量 t-C/m ³ -wood	CO ₂ /C換算 44/12	1m ³ 当たり二 酸化炭素換算 t-CO ₂ /m ³ -wood
0.314	0.5	0.157	3.67	0.576

表一 2 エネルギーの排出係数 ⁶⁾⁷⁾

軽油 kg-CO ₂ /l	ガソリン kg-CO ₂ /l	電力 kg-CO ₂ /kWh	オイル kg-CO ₂ /l
2.62	2.32	0.555	2.83

表一 3 既往の原単位と実測値による原単位

		地拵え～枝打ち Kg-CO ₂ /m ³	丸太貯蔵量 Kg-CO ₂ /m ³	伐採搬出 Kg-CO ₂ /m ³	丸太加工 Kg-CO ₂ /m ³	丸太運搬 Kg-CO ₂ /m ³	丸太打設 Kg-CO ₂ /m ³	施工後の貯蔵量 Kg-CO ₂ /m ³
既往データ	通勤考慮	-0.97	576	-72.54	-7.60	-10.97	-63.18	420.4
	通勤考慮せず	-0.46		-17.50	-7.60	-10.97	-63.18	476.0
今回実測値	通勤考慮	-0.97		-69.49	-7.60	-10.61	-30.97	456.0
	通勤考慮せず	-0.46		-14.45	-7.60	-10.61	-30.97	511.6

※運搬工程は片道68.3km

本実験を行うにあたり、丸太の切出しから盛土までのすべての作業において、燃料消費量およびエネルギー使用量を計測し、各地盤対策の施工による二酸化炭素の排出と丸太による炭素貯蔵の収支を算出した。写真-2に本実験全体の流れ、写真-3に盛土造成後の写真を示す。

4. 二酸化炭素排出量と貯蔵量の算出

表一 1に、スギ材 1m³あたりの二酸化炭素換算値を示す。丸太による二酸化炭素貯蔵量は、打設した丸太の総体積にこの換算値を乗じることにより算出した。

一方、工事による二酸化炭素排出量は、以下のようにして求めた。

丸太の伐採・搬出は、4tトラック、プロセッサ、グラップル、タワーヤーダー、フォワーダーを用いて、12.66haの森林から876.7m³の丸太が伐採・搬出された。これらについて、重機稼働時間と軽油消費量を計測し、丸太1m³の搬出に要した軽油消費量より二酸化炭素排出量、いわゆる原単位を求めた。

丸太加工では、皮むき機による皮むきとチェーンソーによる先端加工を行った。これらについても同様に、それぞれの稼働時間と皮むき機の電力消費量、チェーンソーのガソリンおよびオイル消費量を計測し、先端をペンシル状に尖らせた丸太1m³の加工における原単位を求めた。

運搬は、4tユニック車で木材加工所から実験ヤードまで片道68.3kmを2往復し、160本の丸太を運んだ。これについては、軽油消費量を求め、この距離で丸太1m³を運搬する際の原単位を求めた。

丸太打設は、0.8m³級バックホウに丸太打設用のアタッチメントを装着して実施した。これについて、稼働時間と軽油消費量を計測し丸太1m³を打設する際の原単位を求めた。

サンドマットは、10tダンプで片道9kmの距離より運搬し、運搬された砂は0.8m³級のバックホウを用いて撒きだし、転圧を行った。これについては、それぞれの軽

油消費量よりこの運搬距離でサンドマット1m³を造成する際の原単位を求めた。

盛土は、10tダンプで片道2kmの距離より運搬し、0.5m³級のバックホウにより盛立を行った。これらについては、燃料投入量を求めることができなかったため、前述の片道9kmのダンプにおける走行距離1km当たりの燃費と、バックホウ稼働1時間当たりの燃費より推計した。

土布シートについては、使用量が非常に少なく作業も軽微であったため、二酸化炭素排出計算からは除外している。

なお、二酸化炭素排出量を求める際の各エネルギーの排出係数を表一 2に示す。また、既往の原単位と今回実験の実測値より算出した原単位を表一 3に示す。

5. 実験結果

5.1 工事によるCO₂貯蔵量の収支

図-3に、丸太を0.5m間隔で打設した場合の丸太による二酸化炭素貯蔵量と各作業による二酸化炭素排出量を示す。このエリアにおいて打設した丸太の本数は、合計110本であり、これにより貯蔵された二酸化炭素量は約4.7t-CO₂である。各工程におけるCO₂排出量は、伐採搬出、丸太打設、サンドマット、盛土の作業工程で排出量が多くなっており、本施工における排出の合計は約1.5t-CO₂であった。したがって、本工事では約3.2t-CO₂貯蔵したことになり、工事による二酸化炭素排出量よりも丸太により貯蔵された量の方が大きく上回り、工事をすることが大気中の二酸化炭素削減に寄与することが分かった。また、各工程では、伐採搬出においては通勤における排出の割合が76%と多く、サンドマットと盛土施工においてはダンプでの材料運搬による排出の割合が91% (片道9km) と73% (片道2km) と多いことが分かった。

5.2 盛土運搬距離の違いによる各工法のCO₂貯蔵収支

本実験では、盛土運搬距離が片道2kmと近距離であつ

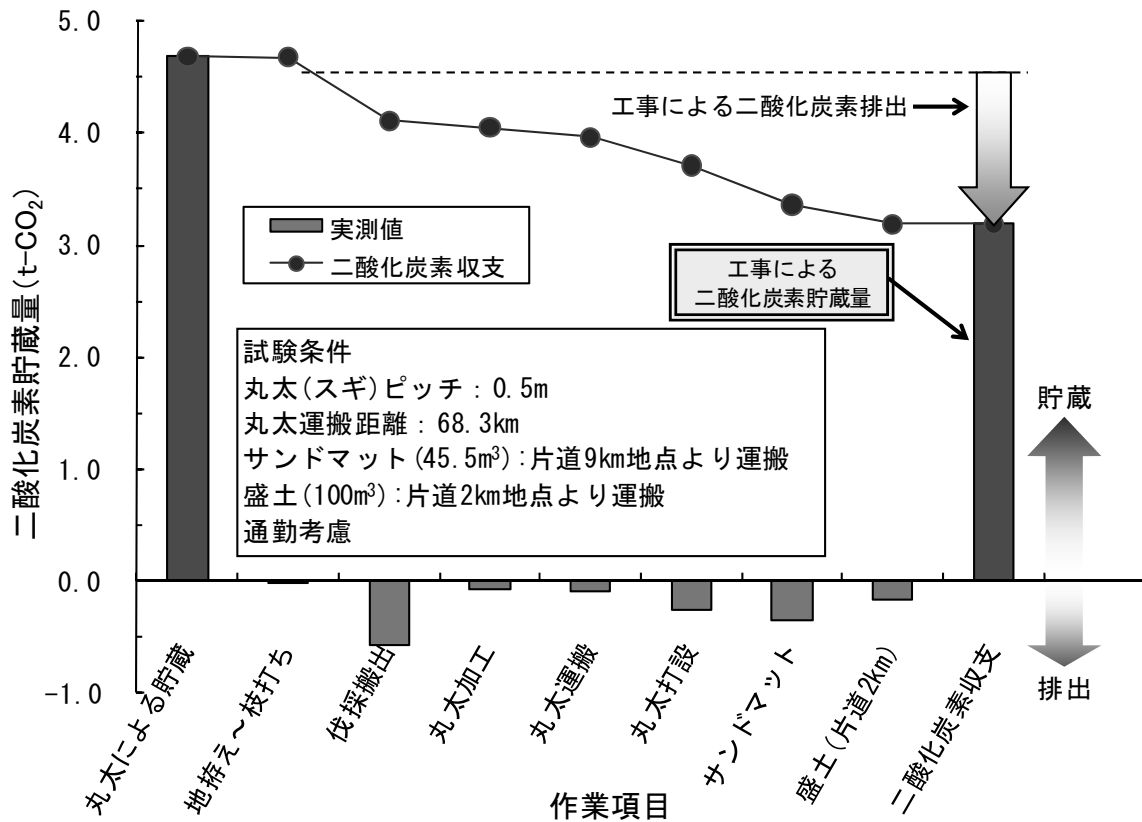


図-3 丸太打設間隔0.5mエリアにおける工事による二酸化炭素貯蔵収支

ため、運搬距離が長い場合を想定したCO₂貯蔵量の収支を既往の原単位を用いて算出した。図-4に、盛土運搬距離の違いによる各工法のCO₂貯蔵収支を示す。本実験における無対策は、軟弱地盤対策としては最もCO₂排出量が少ないと考えられるプレローディング工法に相当するので、図中には無対策をプレローディング工法として示した。プレローディング工法およびその他の地盤対策工法を施工する場合、炭素貯蔵効果は無く排出側となる。一般的な軟弱地盤対策はこのように常にCO₂排出側である。運搬距離が50km、100kmと伸びるに従い排出量はさらに大きくなる。したがって、運搬距離が長かった計画を変更し短くすることでCO₂排出削減となる。これに対し、丸太打設間隔0.5mエリアでは、100km先から盛土を運搬してきたとしてもCO₂貯蔵側となり、工事を行うことが大気中の二酸化炭素削減に寄与することが分かる。杭打設間隔1.0mエリアでは、盛土運搬距離が50kmおよび100kmでは排出側となっているが、プレローディング工法や他工法と比べた場合、その排出量が小さくなっており、本工法を使用することで少なくとも二酸化炭素排出量の削減につながる事がわかる。

6. まとめ

本実験では、人工の埋土地盤を作製し、そこに実大規模の丸太打設により地盤対策を行い、丸太に貯蔵された炭素量と一連の工事によって排出された二酸化炭素量を

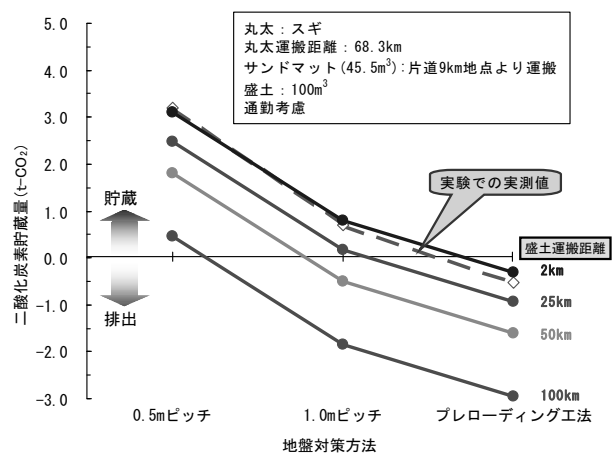


図-4 盛土運搬距離の違いによる各工法のCO₂貯蔵収支

計測し、両者を比較した。その結果、丸太によるCO₂貯蔵量が地盤対策工事の一連の作業によるCO₂排出量を上回り、丸太打設による地盤対策が大気中の二酸化炭素削減に寄与できることが明らかとなった。

謝辞：本実験を行うに当たり、福井県敦賀港湾事務所の林泰正主査、福井県総合グリーンセンターの野村崇主事、名田庄森林組合の本所稔基課長、(株)地域環境研究所の中村裕昭代表取締役はじめ多くの方々にお世話になりました。また、北陸土木・建築両事業部ならびに旗護山トン

ネル作業所の皆様には多大な御協力を賜りました。ここに記して感謝申し上げます。

なお、本研究の二酸化炭素の排出量調査の一部は、科研費(20246078)の助成を受けたものです。

【参考文献】

- 1) 環境省：IPCC 第4次評価報告書統合報告書概要，2007.12.17
- 2) 沼田淳紀，上杉章雄，吉田雅穂，久保光，野村崇：足羽川で採取した木杭調査の概要，第7回環境地盤工学シンポジウム，地盤工学会，pp.85-88，2007.8
- 3) 上杉章雄，沼田淳紀：岩見沢市で掘り出した木杭の強度について，第41回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.2401-2402，2006.7
- 4) 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会：温室効果ガス排出量算定に関する検討結果第5部森林等の吸収源分科会報告書，2006
- 5) 高橋徹，中山義雄編：木材科学講座3 物理第2版，海青社，p.23，1995
- 6) 内閣：地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条第一項，1999.4.7 制定，2008.6.13 最終改正
- 7) 環境省地球環境局：地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく地方公共団体の事務及び事業に係る実行計画策定マニュアル及び温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン参考資料，2007.3

Summary Global warming is an urgent issue that must be dealt in the early half of this century. The authors believe that using woods in construction is an effective approach for reducing the atmospheric concentration of CO₂. One of the technologies is soft ground stabilization by casting in logs of Japanese cedar.

Reductions in atmospheric CO₂ concentration were investigated by actually building a bank by filling earth and stabilizing the fill by casting in full-scale logs of cedar. The amount of CO₂ stored in the cedar logs that were cast in the ground was much larger than the amount of CO₂ emitted from the work, showing that the more the work is executed, the more the atmospheric CO₂ concentration would be reduced.

Key Words : Global warming, Carbon dioxide, Soft ground, Cedar log, Pile