

45. 管理型廃棄物処分場の遮水性に関する解析的検討

An analytic study on the seepage control performance of a waste disposal site at sea

荒木 健二* 大川 賢紀** 長澤 大次郎*

Kenji ARAKI, Katsumori OKAWA, Daijiro NAGASAWA

ABSTRACT ; In recent years in Japan, the number of waste disposal sites at sea where large volumes of waste can be disposed has been increasing due to the lack of waste disposal sites on land. However, currently the technical manual for the construction of such waste disposal sites still has some problems that require resolving. One important problem is the actual seepage control performance of the waste disposal site. This research analyzed a comparative review of a double steel pipe seawall and a caisson type seawall.

In this study, it was assumed that the water depth of the landfill was -20 meters. And it was assumed that the ground conditions consisted of 2 types; soft ground and a comparatively stiff foundation. Three kinds of analyses were performed in this study; consolidation transformation analysis, seismic transformation analysis and advection dispersion analysis of a contaminating substance, from which a general evaluation of the seepage control performance was made.

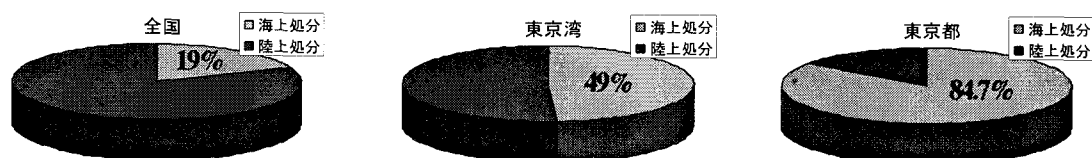
As a result of this study, on the assumption that there was no differential in the seepage from each joint, the performance of the caisson type seawall was better than the double steel pipe seawall in seepage control performance.

KEYWORD ; advection dispersion analysis, waste disposal site, steel pipe seawall, caisson type seawall, seepage control performance

1 はじめに

近年、日本においては首都圏のみならず地方都市においても廃棄物の最終処分場の確保は困難な状況となっている。特に陸上処分場では、住民の反対や大容量の処分場の確保が困難なことから、その建設は困難を要する。一方、海面処分場は、比較的大きな容量を確保出来る為、今後そのシェアは更に大きくなるものと考えられる。

実際、1997年度の統計によると一般廃棄物の最終処分量は全国で約1300万トンあり、その内約19%が海面で埋め立てられている。東京都・千葉県・埼玉県・神奈川県で見ると49%が海面での処分となっている。更に、東京都においては84.7%が海面において処分されており、都市部ほど海面処分場に依存する傾向が高くなっている¹⁾。



「管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル」より

Figure 1 一般廃棄物の海面処分量のシェア

そのような中、平成10年に「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令」(昭和52年総理府・厚生省令第1号)(以下「改正命令」)が改正され、廃棄物護岸に要求される構造及び機能は従来に比べ高度化され、平成12に港湾空間高度化環境研究センター(WAVE)より「管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル」が出されたが、遮水性の問題などの技術的課題多い。具体的には、多くの廃棄物処分場において採用されている遮水シートはシートの継ぎ目部の施工不備・損傷、大水深においては施工できないなどである。

* 三菱重工業株式会社 横浜製作所 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd Yokohama Dockyard & Machinery Works
** 三菱重工業株式会社 高砂研究所 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd Takasago Research & Development Center

本論文においては、ケーソン式護岸において、汚染物質の漏出が特に懸念されるマウンドを設けない形式の護岸を考え、その遮水性を解析的に二重鋼管矢板式護岸との比較することにより検討を加えるものとする。

2 解析手法

ケーソン式護岸の場合には、ケーソン本体の透水性は極めて小さいが、ケーソン間の目地部からの汚染物質の漏出が懸念される。一方、二重鋼管矢板式護岸の場合は、鋼管の継ぎ手部において同様の問題がある。本検討では、上述のとおり漏洩の可能性がある部位や周辺地盤の透水性をモデル化し、汚染物質の漏洩する状況について数値シミュレーションを行った。シミュレーションには、移流分散に基づく地下水中の溶質移動に関する有限要素解析コードである Dtransu-3D²⁾を使用した。本コードにおける移流分散方程式の基礎式を以下に示す。

$$R_d \theta \rho_d \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta \rho_d D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta \rho_d u_i C) - \theta \rho_d \lambda R_d C - Q_c \tag{1}$$

ここで、 R_d : 遅延係数、 D_{ij} : 分散テンソル、 u_i : 実流速、 Q_c : 減泉項、 λ : 減衰定数、 θ : 体積含水率、 ρ_d : 乾燥密度である。なお、分散テンソルは次式で与えられる。

$$D_{ij} = \alpha_T \|u\| \delta_{ij} + (\alpha_L + \alpha_T) \frac{u_i u_j}{\|u\|} + \alpha_m \tau \delta_{ij} \tag{2}$$

ここで、 α_T : 横分散長、 α_L : 縦分散長、 u_i : 実流速、 $\|u\|$: 実流速のノルム、 α_m : 分子拡散係数、 τ : 屈曲率、 δ_{ij} : コロネッカのデルタである。

3 解析内容

3. 1 検討モデル

今回検討したモデルの概略図を Figure 2 に示す。2 種類の地盤（軟弱地盤、硬地盤）に対し、ケーソン式護岸と二重鋼管矢板式護岸を想定した。いずれのケースも、水深は、通常の管理型廃棄物埋立て護岸においては大水深域となる 20m とし、護岸背面の埋め立て側の水位を海底面から 21.4m の位置とした。また、軟弱地盤の場合には、ケーソン式護岸に対して深層混合処理（DMM）を、二重鋼管矢板式護岸に対してサドコパクションパイル（SCP）あるいは、SCP と一部 DMM の併用による地盤改良を行ったものとした。解析ケースを Table 1 に示す。

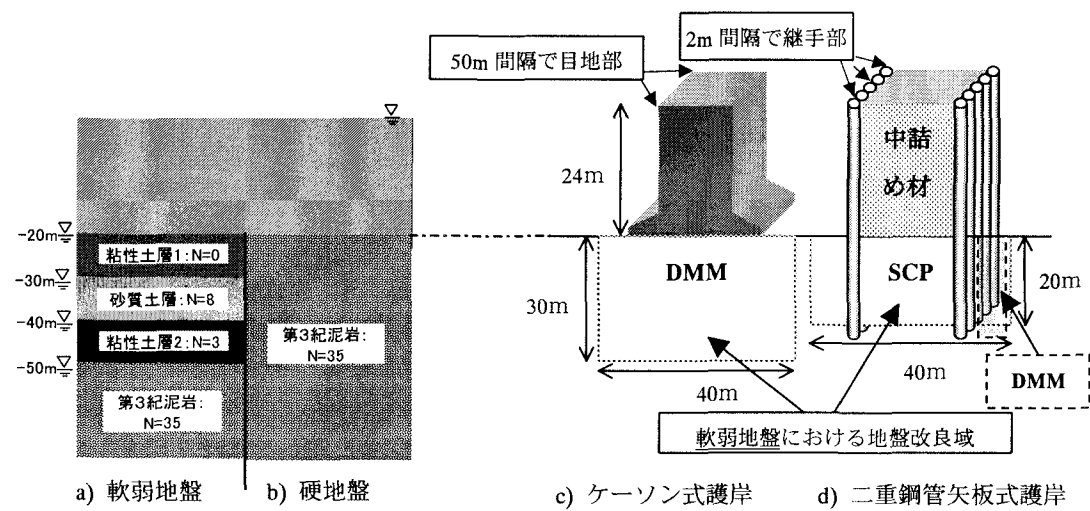


Figure 2 地盤条件および解析護岸形式

Table 1 検討ケース一覧

地盤種類	護岸形式	地盤改良
軟弱地盤	ケーソン式	深層混合処理（DMM）
	二重鋼管矢板式	サンドコンパクション（SCP）
	二重鋼管矢板式	SCP + 一部 DMM
硬地盤	ケーソン式	なし
	二重鋼管矢板式	なし

なお、二重鋼管矢板式護岸において、SCPに加え一部DMMを行ったケースは、東京港に採用された形式を参考に
して、埋立側に近い鋼管矢板から埋立て側に25mの位置において、さらに埋立て側に5m分のDMMによる改良を
行ったものと想定している。

3. 2 解析パラメータ

本解析では、Figure 3に示す有限要素メッシュを用いて二次元解析を行った。解析に使用した地盤および地盤
改良部の物性値をTable2に示す。なお、地盤や地盤改良部の透水係数は「管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管
理マニュアル」に基づき設定した。

また、ケーソン式護岸の目地部（50m 毎）や二重鋼管矢板式護岸の継ぎ手部（2m 毎）の透水係数は、上記マ
ニュアルの換算透水係数を用いて、2次元モデルにおける等価な透水係数を求めた。等価透水係数は、ケーソン
式護岸が $5.976\times10^7\text{cm/s}$ 、二重鋼管矢板式護岸が $1930\times10^6\text{cm/s}$ とした。二重鋼管矢板の中詰め材の透水係数は $1.0\times10^3\text{cm/s}$ とした。ただし、本検討では、ケーソン式護岸の底面は地盤と十分密着しており透水性は極めて小さ
いと仮定している。

本解析では、護岸背面側に一定濃度の汚染源があるものとして、埋め立て完了時点を初期状態とし100年経過
するまでの汚染物質の拡散状況についてシミュレーションを行った。

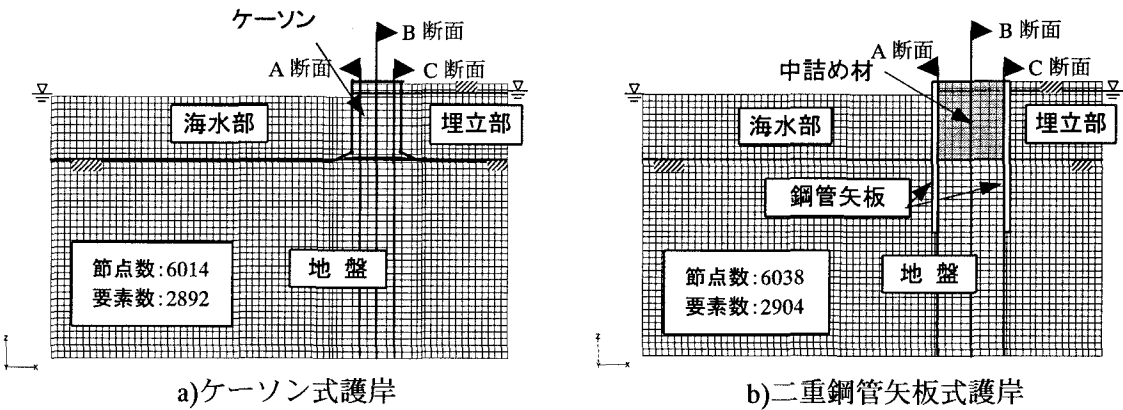


Figure 3 移流分散解析に使用した有限要素メッシュ

Table 2 解析入力パラメータ

項 目	単位	地 盤				地盤改良部	
		粘性土層 1	砂質土層 1	粘性土層 2	泥岩	DMM	SCP
透水係数（水平）	cm/s	7.185×10^{-7}	1.0×10^{-3}	7.185×10^{-7}	1.7×10^{-7}	1.0×10^{-10}	1.026×10^{-6}
透水係数（鉛直）	cm/s	5.450×10^{-7}	1.0×10^{-3}	5.450×10^{-7}	1.7×10^{-7}	1.0×10^{-10}	6.0×10^{-4}
有効間隙率	—	0.6	0.5	0.5	0.5	0.1	
縦分散係数	—	10	10	10	10	10	10
横分散係数	—	1	1	1	1	1	1

4 解析結果

Figure 4に、Table 1に示した5ケース分について、50年経過後の汚染物質の拡散状況をコンタ図で示す。

ケーソン式護岸の場合、硬地盤においては、50年経過後も汚染物質の漏洩はほとんど見られない。軟弱地盤においても、ケーソン底面の領域をDMMにて地盤改良を行うことにより、汚染物質の拡散状況は硬地盤の場合と同程度に抑制されることがわかる。また、いずれの地盤においても、ケーソン下部からの海水への回りこみは抑えられている。

一方、二重鋼管矢板式護岸の場合、硬地盤において、海底地盤から海水への回りこみはケーソン式護岸と同様に抑えられるが、海底面より上、すなわち矢板が直接海水と接している部分において、汚染物質の濃度が高くなっている。また、軟弱地盤の場合、SCPによる改良では、海底地盤付近において汚染が拡散してしまうため、海底地盤側からの漏洩も懸念される。

また、二重鋼管矢板式護岸において、上記SCP改良に加え、護岸背面側の矢板から25m距離においてDMM改良を行った場合には、初期の数十年くらいは海底地盤への汚染の拡散が幾分低減されることが確認できたが、Figure 4 C)に示すように、50年経過後時には、SCP改良のみのC)の結果と汚染濃度分布はほとんど変わらず、矢板とDMM改良域間の経路が塞がらない限り海水部への拡散状況はそれほど変わらない。

Figure 5およびFigure 6に、ケーソン式護岸と二重鋼管矢板式護岸の軟弱地盤のケースについて、海より22m内側（A断面）、護岸中心（B断面）、陸より22m外側（C断面）の各断面における汚染濃度の経年的変化を示す。これらの結果より、ケーソン式護岸の場合は、100年経過後も海側への漏洩はほとんどないが、二重鋼管矢板式護岸の場合には、今回想定した施工条件では、50年経過後には海底面より上側の継ぎ手部だけでなく、海底面下からも汚染物質の漏洩が懸念される構造となっている。

Figure 7に、硬地盤において中詰め材の透水係数を粘土と同程度（ $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ）にした場合の結果を示す。この場合、海底面から上の漏洩はほとんどなくなるため、本護岸形式の安全性確保において、継ぎ手部の健全性に加え、軟地盤における地盤改良法が重要となる。

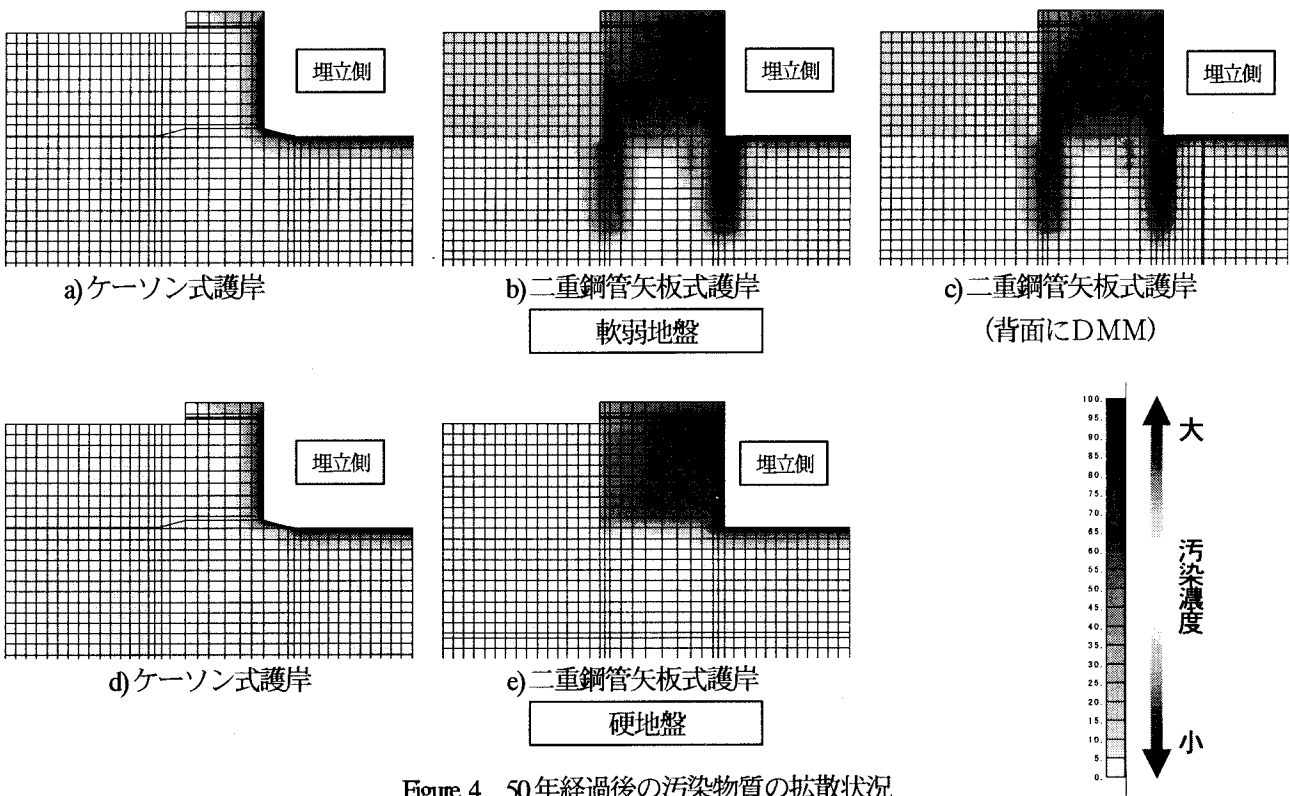


Figure 4 50年経過後の汚染物質の拡散状況

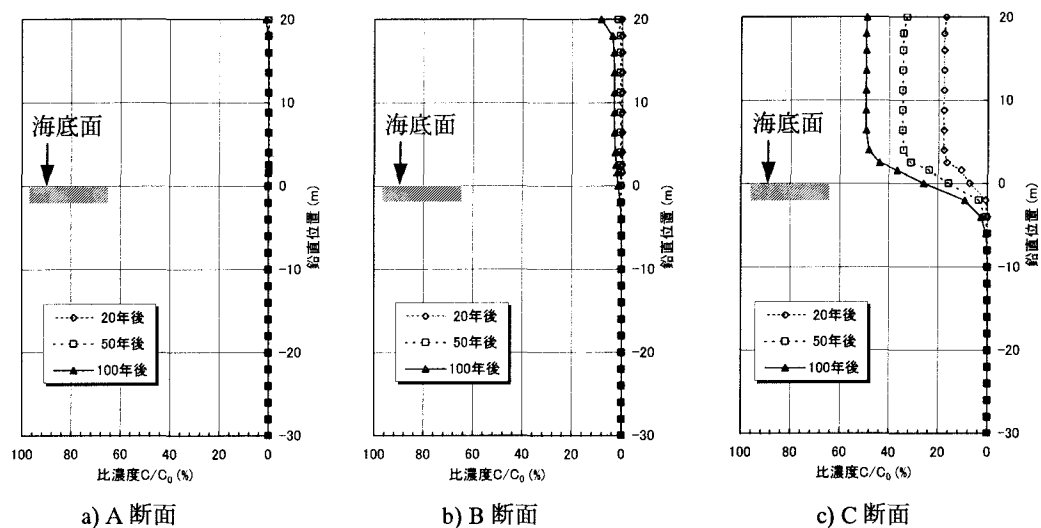


Figure 5 各断面における汚染濃度の経年的変化（ケーソン式護岸・軟地盤）

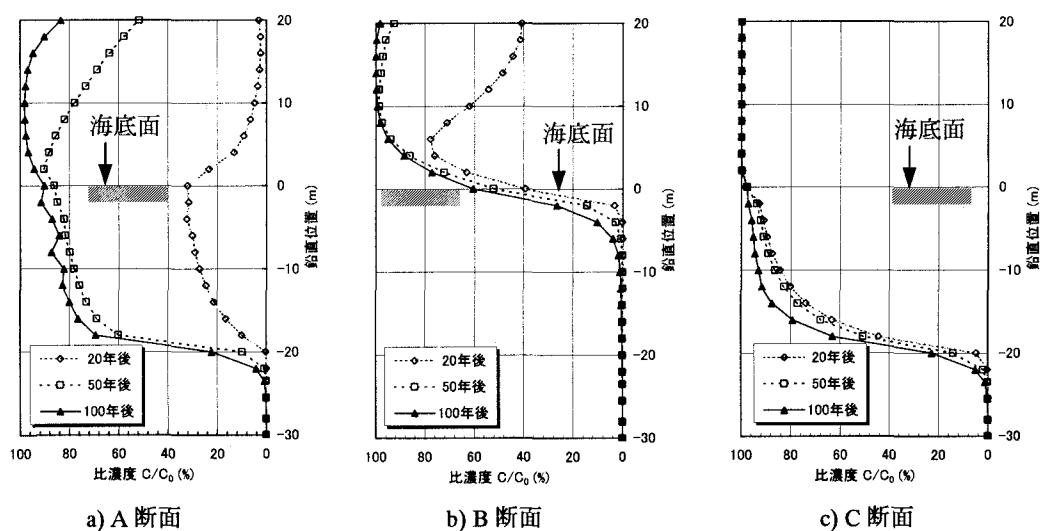


Figure 6 各断面における汚染濃度の経年的変化（二重鋼管矢板式護岸・軟地盤）

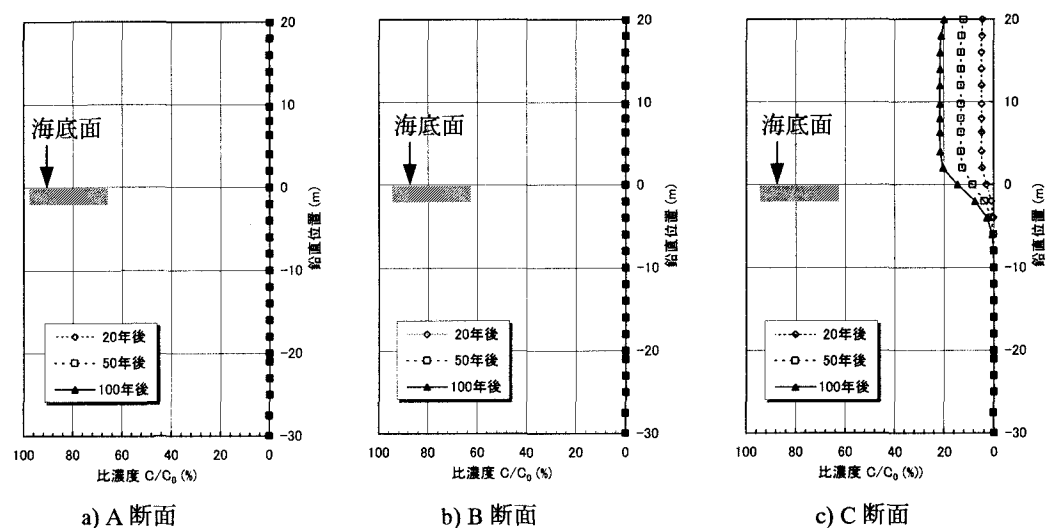


Figure 7 各断面における汚染濃度の経年的変化（二重鋼管矢板式護岸・軟地盤、中詰材の透水係数： 10^{-6} cm/s）

4 結論

本研究においては、管理型廃棄物護岸の遮水性に関し、護岸形式による比較検討を解析的行なったものである。以下、本解析により得られた結論について述べる。

- ・ マウンドを設けない形式のケーソン式護岸においては、目地部において矢板継ぎ手と同程度の遮水性を有するものと仮定すると、遮水性に優れた構造形式であるといえる。
- ・ しかし、ケーソンを地盤に直接据え付ける工法は施工事例も少なく、ケーソンと地盤の目地部の遮水性等、今後実験等により明らかにしなければならない。
- ・ 矢板式護岸における地盤改良として一般的なサンドコンパクションパイル工法により地盤改良を行なうと、底面地盤からの漏出が大きく他の改良法を用いるなど対策が必要である。
- ・ また、サンドコンパクションパイルにより改良された地盤の背面に深層混合処理を設ける構造は遮水シート等により矢板と深層混合処理地盤との間を塞がなければ効果の低く注意が必要である。
- ・ 二重鋼管矢板式護岸において、中詰め材の透水係数が低ければ、海底地盤より上側の護岸からの汚染物質の漏出は非常に低減することが確認された。

<参考文献>

- 1) 港湾空間高度化環境研究センター (WAVE) : 管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル
- 2) 西垣誠, 菱谷智幸, 橋本学, 河野伊一郎: 飽和・不飽和領域における物質移動を伴う密度依存地下水流の数値解析手法に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 511/III-30, pp. 135-144, 1995.