

二重式トレミー管を用いた土砂投入

Dumping Dredged Material with Double-Tremie

奥村研一*・手塚哲**・高木幸夫***・五明美智男****・飯田勲*****・矢内栄二*****

Kenichi Okumura, Tetu Tezuka, Yukio Takagi, Michio Gomyoh, Isao Iida, Eiji Yauchi

Double-tremie work was applied to mitigate some effects caused by dumping dredged materials. Field investigations were carried out in order to clarify its efficiency, which can reduce the discharge of suspended solids by circulating water body in it. It is found that natural circulation did not occur under an intermittent dumping condition, but an additional compulsory circulation by aeration could keep suspended solids in the tremie at a higher level and reduce the discharge to the surrounding water.

Keywords: double-tremie, dredged material, suspended solids, aeration

1. はじめに

川崎港東扇島地区の前面海域では、昭和49年から53年にかけて東扇島の埋立用材として海底から土砂が採取され、現在でも広い範囲に窪地が残存している。そのため、小中型のタンカー等の錨泊地として利用されてはいるものの、海底地盤に見られる不陸のため船舶投錨地として良好とはいえないのが現況である。また、窪地海底付近では、海水の滞留により貧酸素水塊が発生しやすく、海洋生物の生息環境としても好ましくない。こうした現状をふまえ、現在この地区で進められている

コンテナ岸壁等の泊地整備事業においては、航路泊地の浚渫により発生する土砂を整備用材として活用し、錨泊地機能の向上と滞留域解消による水質改善を図ることとした。

工事の実施にあたっては、土砂投入による濁りの拡散を出来るだけ抑えることはもちろんのこと、錨泊地としての利用上広範囲な汚濁防止膜の敷設を避ける必要があった。そこで、環境への影響をできるだけ少なくし、しかも狭い作業占有域から計画地点に確実に土砂を投入する方法として、二重式トレミー管を用いた工法を採用することとした。本論文では、二重式トレミー管近傍での現地観測結果について報告するとともに、二重式トレミー管の汚濁低減機構について考察する。

2. 二重式トレミー管の特徴

今回用いた二重式トレミー管は、図-1に示すような構造であり、土砂投入時に発生する内管内と外管内の水位差による循環流を利用し、浮遊しやすい土粒子を管内に滞留させ汚濁発生を低減しようとするものである。(こ

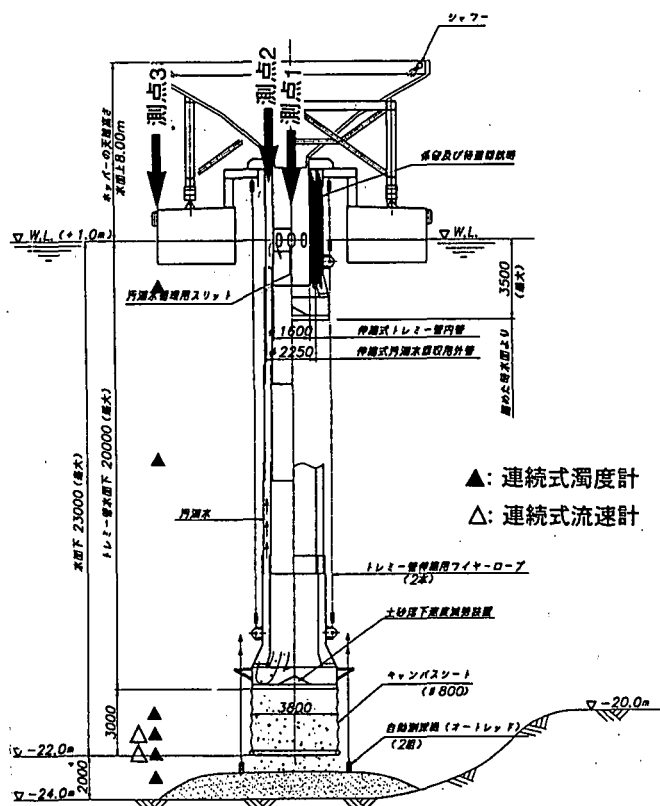


図-1 二重式トレミー管の構造と調査位置

* 正会員 前 運輸省第二港湾建設局京浜港湾工事事務所 (〒221 横浜市神奈川区山内町1丁目2番)
(現 本州四国連絡橋公団)

** 運輸省第二港湾建設局京浜港湾工事事務所

*** 前 運輸省第二港湾建設局京浜港湾工事事務所 (現 運輸省第二港湾建設局東京空港工事事務所)

**** 正会員 東亜建設工業(株) 技術研究所

***** 正会員 東亜建設工業(株) 横浜支店土木部

***** 正会員 東亜建設工業(株) 土木本部設計部

表-1 各測点における調査内容

測点 (m)	目的	調査項目・方法	調査サイクル
1 x=0	汚濁循環効果の確認	投入式濁度計により 1 m 毎に測定	1 隻あたりの土砂投入終了後
2 x=1.2 - 1.4	汚濁循環効果の確認	①海面から 5 m ごとに採水し SS を測定	1 隻あたりの土砂投入終了後
		②電磁流速計により海面下 13 m で測定	土砂投入中
3 x=6	汚濁拡散状況	表層(-2m)、中層(-10m)、下層(海底から +1,2,3,4m)で連続式濁度計で測定	施工直前から終日
	土砂投入時流況	下層(海底から+1,2m)で、連続式流速計により測定	施工直前から終日
4 x=23	汚濁拡散状況	投入式濁度計により 0.5m 毎に測定	土砂投入中 10 分毎

ここでは、外側、内側の管をそれぞれ外管、内管と呼び、外管と内管の間を外管内、内管内側の土砂が落下する部分を内管内と定義する)。内管内と外管内の水の交換は、トレミー下端の開口部および内管静水面付近のスリット部で生じる。また、バケットによる断続的な投入時においても循環流が促進されるように、内管下端に設置した 8 個の空気穴より外管内に向け空気を発生できるようにしている。

3. 工事および調査概要

3-1. 工事状況

今回の施工区域内には水深 24 ～ 26 m の窪地が散在している。工事は、その一部に約 17 万 9 千 m³ の土砂を投入し、完成地盤高-22 m まで埋め戻したものである。13m³ バケットを備えたグラブ船により、800m³ の土砂を 1 時間前後で投入することが出来、バケット 1 回あたりの投入サイクルタイムは約 1 分であった。

3-2. 調査内容

通常、工事による汚濁については、汚濁発生原単位を調査する場合が多い（たとえば佐藤、1987）。しかしながら、本調査では、錨泊地内での係留および定点観測が困難であることから、トレミーを機装した台船上で調査可能な位置と方法を選定した。

二重管トレミー近傍に 4 つの測点を設け、それぞれ①測点 1：内管内中心部 (x=0 m)、②測点 2：外管内 (x=1.2 ～ 1.4 m)、③測点 3：外管近傍 (x=6 m)、④測点 4：周辺 (x=23 m) とした（図-1 参照）。各測点における調査目的・項目・方法・調査サイクルは、表-1 に示すとおりである。特に、汚濁の指標としては濁度および SS を測定した。また、投入土砂の性状把握を目的として、比重、粒度を測定するとともに、濁度と SS の相関について室内実験を行った。

各調査は表-2 に示すような日程と投入条件で実施した。エアレーション時の空気放出流量は 0.5 ～ 1.0m³/min である。

4. 調査結果

4-1. 投入土砂特性

(1) 投入土砂の性状

土砂供給元である浚渫地点の平面的位置あるいは深度の違いにより、施工全期間を通して投入土砂性状に若干の違いが見られた。しかしながら、現地観測期間中の土砂性状はほぼ一定しており、土粒子比重 2.67、シルト分・粘土分含有率 94 %、自然含水比 70 % となっている。

(2) 投入土砂の濁度・SS 特性

光学的測定法により得られる濁度は土砂の色、粒径などに依存し、海域底泥では SS と大きく異なる場合がある。今回用いた土砂では、投入式・連続式濁度計の濁度 T と SS の関係として、図-2 に示すような関係が得られている。これより、現場海水（土砂混入無し）の SS 濃度をゼロとし、次の 2 式により濁度を SS に換算し解析に用いることとした。

$$SS = 0.003T^2 + 0.018T + 98.588 \quad (T \geq 400\text{ppm}), \quad SS = 1.458T - 11.957 \quad (T \leq 400\text{ppm}) \quad (1)$$

表-2 調査条件

調査日	エアレーション	調査地点と調査内容
1997 2/6	無し	1、2（濁度・SS のみ）、3、4
1997 2/7	有り	1、2（濁度・SS のみ）、3、4
1997 2/8	無しまたは有り	2（流速のみ）

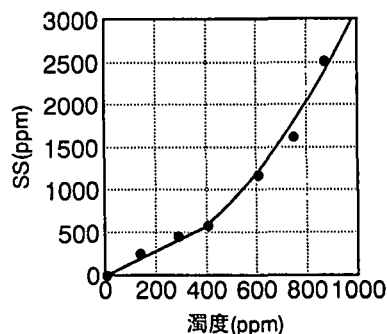


図-2 濁度と SS の関係

4-2. トレミー近傍での SS の移流拡散現象

投入された土砂は、トレミー内管を落下した後、一部は直下の海底に堆積し残りは周囲へと拡がる。砂の場合には、海水の抵抗、底面摩擦の影響を受け速度を減じつつ、前進しながら砂粒子を沈殿させていく(小川、竹内、1969)。一方、シルト質の土砂の場合には、密度流的な挙動を示し、砂粒子に比べ汚濁の拡がる範囲も大きくなる。

本調査では、投入後の水平流が卓越すると考えられる $x=6$ m 地点と台船上で最も距離の取れる $x=23$ m 地点で、SS の移流拡散現象について検討した。

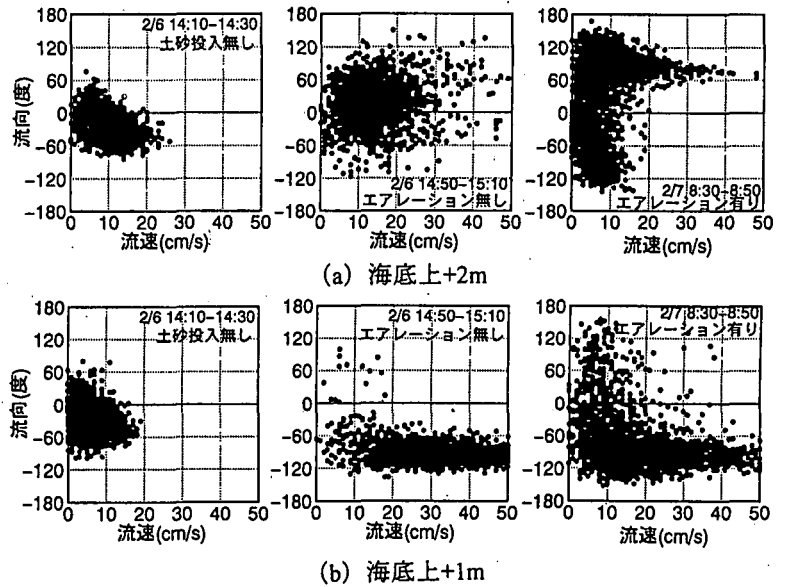


図-3 $x=6$ m の海底上+2 m、+1 m での流向、流速変動

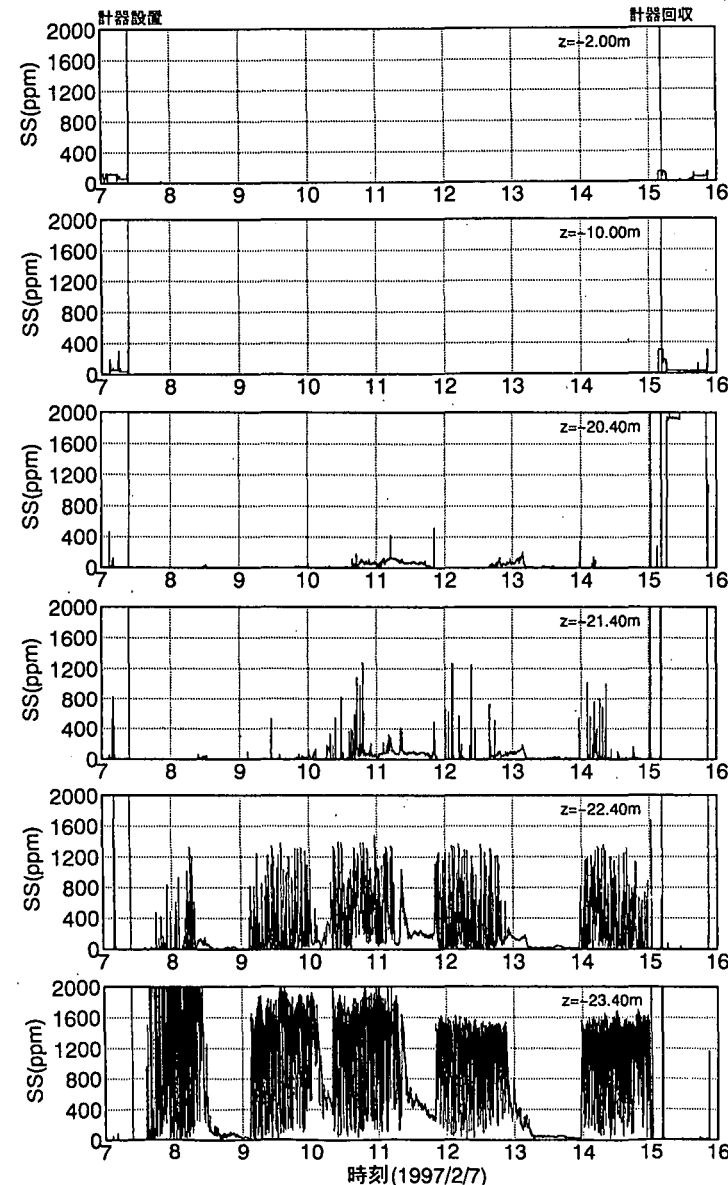


図-4 $x=6$ m における表層、中層、底層の SS の変化

(1) 二重式トレミー管近傍における底層流速変動

図-3 は、 $x=6$ m における海底上+2 m、+1 m での土砂投入前後の流向、流速変動の一例を示したものである。ここで、 $x=6$ m における流向は、 $-90 \sim -100$ 度が x の (+) 方向 (トレミー中心→周辺) へ、 $80 \sim 90$ 度が x の (-) 方向 (周辺→トレミー中心) を示している。

土砂投入前後で底層の流況は大きく変化し、海底上+1 m では投入後トレミー中心から周囲へ拡がる流れが卓越するようになり、その大きさも投入前の場の流速の数倍に達している。この傾向は、エアレーションの有無によらず認められる。一方、海底上+2 m では、エアレーションの有無により異なった様子を示し、エアレーション時にはトレミー中心へ向かう流れが大きくなる傾向がある。

(2) 二重式トレミー管近傍における SS

図-4 は、 $x=6$ m における表層・中層および底層の SS の時間変化を示したものである。底層付近の-23.4、-22.4 m での SS は、1 隻あたりの土砂投入が終了するまで、投入後急激に増大し直ちに低下するといった変動を繰り返していることがわかる。このように海底近傍では投入直後に高い SS 値を示すが、上方へ向かうにしたがって低減し、-21.4、-20.4 m では間欠的に SS 値が変動している。また、海面下-2、-10 m においては、SS 負荷はほとんどない。

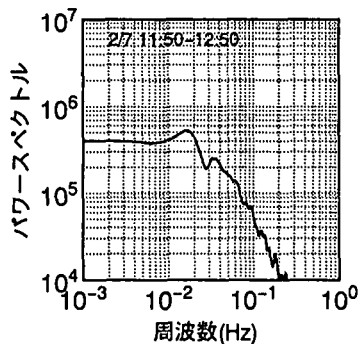


図-5 底層 SS のパワースペクトル

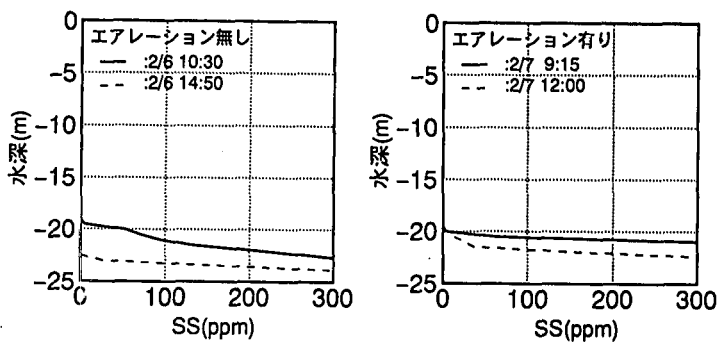


図-6 x=23 mにおける SS の鉛直分布

図-5 は、-23.4 m地点における 11:50 以降の 1 時間のデータから、パワースペクトルを計算したものである。これより、エネルギーピークが周波数 0.17 (周期約 1 分) 前後に見られ、土砂の投入間隔とほぼ一致していることがわかる。このように、トレミー近傍底層の SS は、土砂投入時に内管内を落下した土砂が海底に衝突した後、水平方向に移流する際に極大となる。また、海底より 3～4 m 上方の SS は、こうした水平方向の強い流れに伴う連行による混合や衝突時の巻き上がりなどによるものと推定される。なお、図-5 はエアレーション時のデータを示しているが、エアレーションがない場合でも同様の傾向となっている。

(3) 二重管トレミー周辺における SS

図-6 は、x=23 mにおける土砂投入中の SS の鉛直分布を示したものである。300ppm 以上の高い SS 値は、底層上数m程度の薄い層厚で移動してきていることがわかる。また、分布形状は潮位によらずほとんど一定であり、この地点への SS の移動の要因としては、潮流などによる移流拡散よりは土砂投入に伴う水平流が卓越しているものと推測される。

4-3. 二重式トレミー管内の現象

次に二重式トレミー管内の循環と SS について検討する。

(1) 外管内での鉛直流速

図-7 (a)、(b) の太線は、海面下 13 m での鉛直流速波形 (上向きが+) を示したものである。エアレーションの有無によらず大きな変動が生じていることがわかる。この理由としては、流速計が固定できなかったために、センサーの回転、振動などの影響や台船の動揺などの影響が生じているためと考えられる。

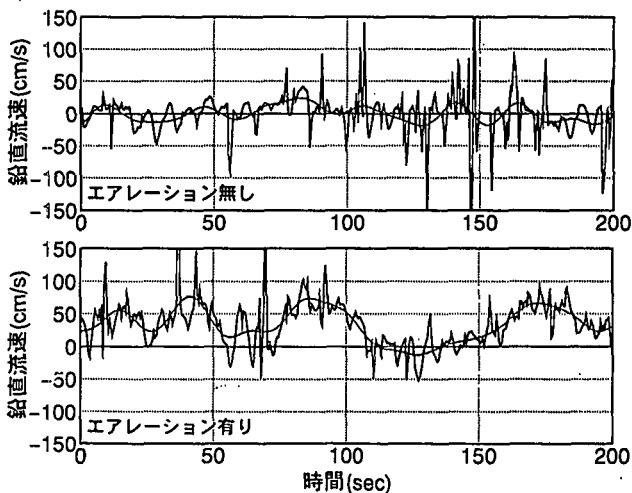


図-7 外管内の鉛直流速変動

図-8 は、概略の流速特性を調べるため

に、それぞれのパワースペクトルを計算したものである。両者ともに、周期 7～8 秒程度のところにエネルギーのピークがあり、土砂投入時の台船の動揺や固有周期の影響と考えられる。一方、エアレーションの有無による相違は、低周波数側のスペクトル形状に顕著に見られ、エアレーション時には周波数 0.05Hz 以下のエネルギーが非常に大きいことがわかる。

そこで、カットオフ周波数 20Hz で数値ローパスフィルターをかけて取得した時系列が図-7 中の細線である。エアの供給状態が定常状態に設定できていないため、エア供給量と流速との定量的な関係を得るには至っていないが、エアレーション時には概ね 30～40cm/s 程度の上昇流が観測されている。これに対し、エアレーションが無い場合には、平均流速はほぼゼロとなっている。

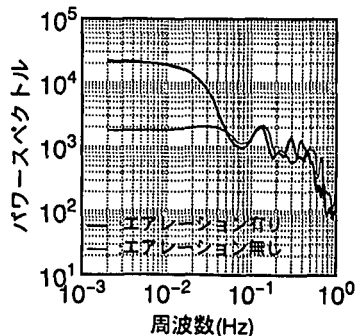


図-8 外管内鉛直流速のパワースペクトル

以上より、エアレーションが無い場合、トレミー管下部および上部において外管、内管間での水の動きはあるものの鉛直上昇流は見られず、自然循環は生じていないことがわかる。また、エアレーションによる強制循環に

より上昇流が誘起されることが確認された。

(2) 二重式トレミー管内の SS 分布

次に、エアレーション時に生じる上昇流が二重式トレミー管内での SS の滞留に寄与するかどうかについて検討する。図-9 は、土砂投入後の外管内各深度における SS を示したもので、明らかにエアレーション時に増大していることがわかる。また、図-10 は土砂投入終了後のトレミー内管内の SS の鉛直分布を示したものであり、SS は海面から 20 m 付近（トレミー先端水深 21 m）までほぼ一様で、外管内と同様エアレーション時に SS が増大している。なお、20 m 以深の底層部でみられる急激な SS の低下は、エアレーション時に緩やかとなっている。これは、鉛直上昇流により底層部の SS が滞留し、土砂投入の合間の底層流による移流が小さくなっているためと考えられる。

このように、エアレーションによる強制循環により、1 隻あたりの土砂投入終了後には二重式トレミー管内の SS が増加していることが確認された。

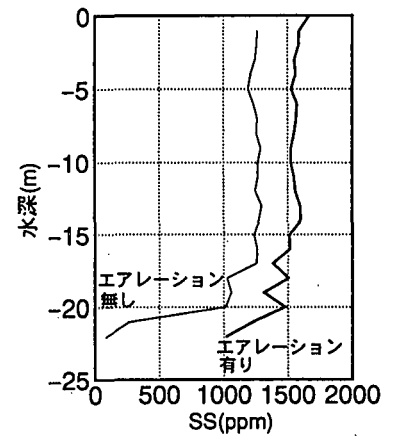


図-9 土砂投入後の外管内 SS の鉛直分布

5. 二重管式トレミーの汚濁低減機構

4. の調査結果から、二重式トレミー管の効果と汚濁低減機構について整理すると以下ようになる。

(1) 汚濁範囲

二重管式トレミーを用いた土砂投入では、周辺への SS 負荷が生じる領域を底層に限定することができる。この時の底層周辺での水平的な移流拡散現象としては、①土砂投入直後の急激な移流拡散、②投入合間に見られる緩やかな移流拡散に分類される。

(2) 土砂投入時の流況

投入直後、海底直上を側方へ移動する土砂塊の流速はかなり大きな値となり、周辺への SS 負荷の主因となっているものと考えられる。強制循環では、こうした SS フラックスを低減することは難しい。しかしながら、こうした強い側方への流れと相対し、エアレーションによる強制循環時には、その直上でトレミー管の中心へ向かう流れが生じる傾向がある。

(3) 循環による汚濁貯留

二重式トレミー管内をエアレーションにより強制循環させることにより、SS の貯留効果を強化することができる。強制循環により吸い上げられる SS は、土砂の投入合間にトレミー下端部に存在するもの、投入時に周辺からトレミーへ向かう流れによって集積するものであると推測される。

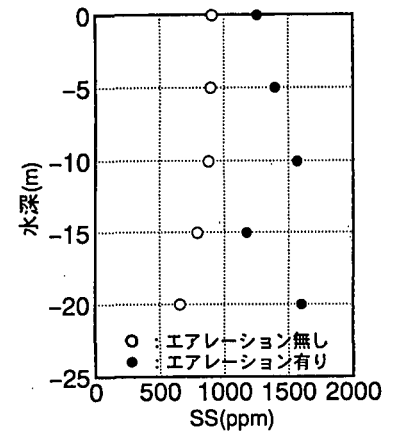


図-10 土砂投入後の内管内 SS の鉛直分布

6. おわりに

二重管式トレミーを用いた土砂投入時の調査結果を示すとともに、二重管式トレミーの汚濁低減機構について考察した。今回の施工条件では自然循環による SS の滞留は認められなかったものの、エアレーションを使用した強制循環により、SS が滞留し周辺への負荷が低減されていることが確認された。今後は、単式トレミー管との各現象の相違やトレミー下端での循環流による吸い込み状況などを確認する必要がある。また、SS 負荷の主要因となる投入直後における底層水平方向の移流を低減する方策や自然循環が期待できるような投入方法の検討も必要と考えられる。

参考文献

- 佐藤敦久編 (1987) : 水環境工学、浮遊物質から見た環境保全、技報堂出版、p.247.
- 小川元・竹内益雄 (1969) : 土捨船による投棄土砂の分散、土木学会論文集、第 161 号、pp.39-49.