

# シドニー・ハーバー・トンネルの 沈埋函の外洋曳航

齋藤尚武\*・山崎 晶\*\*

シドニー・ハーバー・トンネルは、ハーバー・ブリッジの交通混雑を解消するために、沈埋工法を用いて建設されている。本工事では、トンネル建設地周辺に適当な用地が無く、シドニーの南約70 kmのケンベラ港にドライドックを設け、ここで沈埋函を製作し、シドニーまで外洋を曳航する方法を用いた。矩形断面ドライドック方式の沈埋函では、このような長距離の外洋曳航作業は初の試みであった。本報告では、外洋曳航時の沈埋函の挙動に関する検討と曳航作業の詳細を述べている。

**Keywords :** immersed tube tunnel, ocean towing, rectangular concrete units, behaviour of units in waves

## 1. はじめに

シドニー・ハーバー・トンネルは、ハーバー・ブリッジの慢性的な交通渋滞を解消するために計画された全長約2.3 kmの道路トンネルで、シドニー港横断部分の約1 kmは沈埋工法を採用している (Fig.1)。工事はBOT方式によるフルターンキー方式で、(株)熊谷組と地元のトランスフィールド社のJVが行っており、工事費は約660億円でトンネルは1992年9月1日に開通予定である。工事全体の概要については参考文献1)を参照されたい。

本工事ではトンネル建設地周辺にドライドックを設けることができず、シドニーから約70 km離れたケンベラ港で沈埋函を製作し、これをシドニーまで外洋を曳航する方法を用いた。本工事のような矩形断面ドライドック方式の沈埋函の場合は、ドライドックをトンネル建設地の近くに設け函体の曳航は静穏な海域を短時間行うのが通例であり、このような外洋曳航は初の試みであった。沈埋函は全部で8函であり4函ずつ二回に分けて製作し、最初の4函は1989年10月~11月、残り4函は1990年9月~10月に外洋曳航作業を実施し、無事完了した。Photo 1に外洋曳航状況を示す。

## 2. 外洋曳航の必要性と問題点

### (1) 沈埋函製作用地の選定

沈埋函製作用地の選定ではシドニー湾およびその奥に広がるパラマツタ川流域の現存するドライドック・造船台を調査したが、本工事に利用できるものは無く、またこうした地域に新たにドライドックを建設することも、

\* 正会員 (株)熊谷組 豪州支店 シドニー・ハーバー・トンネル工事所 所長  
(100 Arthur st., North Sydney, NSW, 2060, Australia)

\*\* 正会員 工修 (株)熊谷組 技術研究所 水理研究部  
(元シドニー・ハーバー・トンネル工事所)

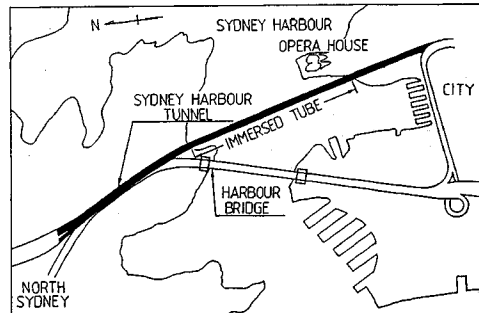


Fig.1 Location of the Sydney Harbour Tunnel



Photo 1 Ocean Towing of the IMT Units

岩盤が地表面近くに存在しドックの掘削に多額の工事費を要すること、近隣に住宅地区があり工事騒音等の環境問題のため不可能であった。また、シドニーから近いボタニー港にドライドックを建設することも検討したが、ドック掘削に伴う地下水のくみ上げで地盤沈下が生じ周辺の化学工場に悪影響を与える恐れがあり、実現しなかった。

結局、沈埋函製作に必要な資材確保の容易さも考慮して、Fig.2に示すシドニー南方約70 kmのウーロンゴン

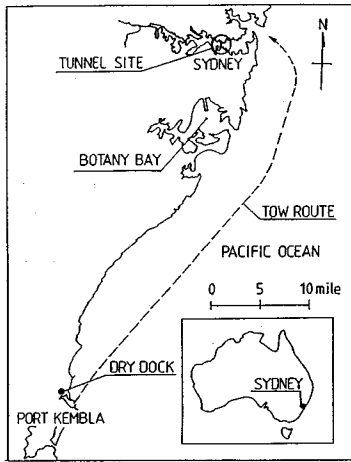


Fig.2 Tunnel Route and Location of the Dry Dock

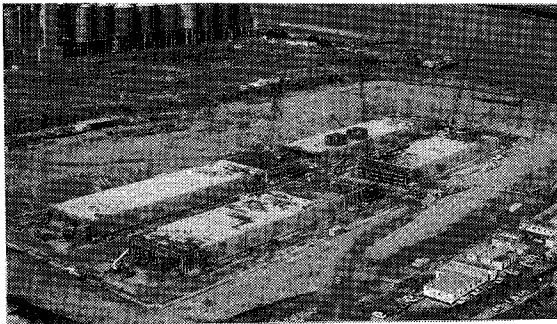


Photo 2 Construction of the IMT Units at Port Kembla

市のケンベラ港にドライドックを建設した。

(2) 沈埋函の構造形式の選定

沈埋函の構造は、ドライドックにて製作される鉄筋コンクリート製の矩形断面を持つ形式と、造船台上で鋼殻の製作を行いこれを進水させて躯体コンクリートを鋼殻内に打設する形式に大別される。本報告では、前者を矩形断面ドライドック方式、後者を鋼殻方式と呼ぶ。

本工事では鋼殻方式を用いると下記のような問題等があり、矩形断面ドライドック方式を採用した。

① 鋼殻方式でよく用いられる円形または馬蹄形断面を用いると、矩形断面に比べ高さが約2.2m高くなる。このため浚渫深さが深くなり、特に岩盤の浚渫量が多くなり工費が増大する。また交通基面が下るため南側アプローチトンネルの縦断勾配が非常に急になり、設計車輪速度および換気システムに問題が出る。

② 鋼殻の防食対策として、電気防食を行うか、その外側に水中トレミーコンクリートを打設することがよく行われる。前者は工費の増大を招き、また後者は沈設地点にて打設するので船舶航行の障害となる。

③ 鋼殻内のコンクリートは函体が浮上した状態で打

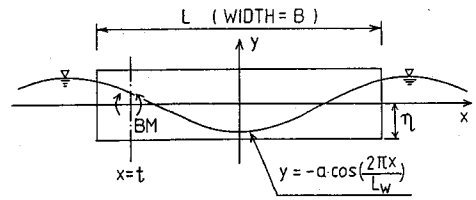


Fig.3 Bending Moment for High Freeboard Vessel

設するので高温多湿な環境下での作業となり、労働問題の発生が懸念される。

Photo 2 にドライドックでの沈埋函製作状況を示す。

(3) 外洋曳航の問題点

沈埋函の長距離の外洋曳航作業は鋼殻方式では実施されており、この場合、鋼殻内の躯体コンクリートの大半を外洋曳航作業の完了後に打設することで、外洋曳航時の沈埋函に大きな乾舷および十分な函体強度を持たせ、波浪中での安定性を確保している。

一方矩形断面ドライドック方式の沈埋函では、函体に所要強度を得るためには函体重量が重くならざるを得ず、浮上時の乾舷は非常に小さい値となる。このため曳航時の波浪に対して函体の安定性・制御性が十分でないなどの理由で、長距離の外洋曳航作業は不可能であると考えられてきた。(例えば2)

本報告では、シドニー・ハーバー・トンネルの設計・施工検討作業で行われたこうした問題点についての検討や曳航作業状況を述べ、矩形断面ドライドック方式の沈埋函でも外洋曳航作業が十分実施できることを示す。

3. 波浪による曲げモーメントの検討

沈埋函や船などの細長い浮体に作用する曲げモーメントは、浮体長軸に沿って進行する波の山または谷が浮体中央に来た時のホギング・サギング状態に最大となる。こうした外力の評価には、浮体各断面での浮力と重量分布の差より静的な曲げモーメントを計算する方法がよく用いられ、ここでもこの方法を用いる。

(1) 乾舷の大きな場合の曲げモーメント

沈埋函の場合、函体の長手方向の重量分布はほぼ一様であり、水面変動による浮力の変化に基づく曲げモーメントのみ考える。

断面を矩形と考え、静水中の浮体吃水を  $d$  と書くと、浮体重量  $W$  は海水の単位体積重量を  $\gamma$  として、

$$W = \gamma L B d \dots\dots\dots (1)$$

と書ける。Fig.3 に示すサギング状態を考える。波の波長を  $L_w$ 、波高振幅を  $a (= H/2; H: \text{波高})$  とすると、

$$y = -a \cos\left(\frac{2\pi x}{L_w}\right)$$

と波形が書けるので、この状態での浮体の吃水を  $\eta$  とすれば浮体重量は浮力に等しいので、

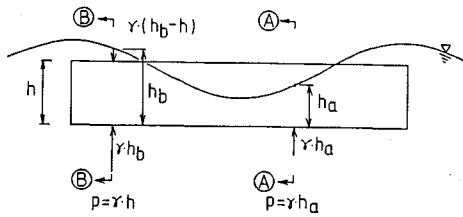


Fig. 4 Pressure for Low Freeboard Vessel

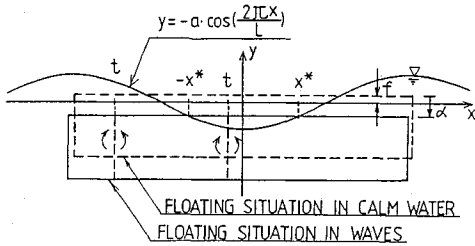


Fig. 5 Bending Moment for Low Freeboard Vessel

$$W = 2\gamma B \int_0^{L/2} (y + \eta) dx \dots\dots\dots (2)$$

となり、式 (1), (2) より  $k = L/L_w$  として、

$$\eta = d + \frac{a}{\pi k} \sin \pi k x \dots\dots\dots (3)$$

が成立する。

浮体重量と浮力の差に相当する水頭は  $(y + \eta - d)$  であるので、位置  $x = t$  での曲げモーメント  $BM$  は、

$$BM = \gamma B \int_{-L/2}^t (y + \eta - d)(t - x) dx$$

となり、式 (3) を用いて、

$$\frac{BM}{\gamma B L^2 H} = \frac{1}{8(\pi k)^2} \left[ \frac{\sin \pi k}{2\pi k} \left( \frac{2\pi t}{L_w} \right)^2 + \cos \left( \frac{2\pi t}{L_w} \right) - \frac{\pi k}{2} \sin \pi k - \cos \pi k \right] \dots\dots\dots (4)$$

となる。これは浮体中央 ( $t = 0$ ) で最大値  $BM_{max}$  をとり、下記のように書ける。

$$\frac{BM_{max}}{\gamma B L^2 H} = \frac{1}{8(\pi k)^2} \left( 1 - \cos \pi k - \frac{\pi k}{2} \sin \pi k \right) \dots\dots\dots (5)$$

式 (5) の右辺は  $k = 1.116$  にて最大値 0.026 をとり、通常よく用いられる波長が浮体長さに等しい条件 ( $k = 1$ ) では、

$$BM_{max} = 0.0254 \gamma B L^2 H \dots\dots\dots (6)$$

となる。なおホギング状態でも式 (5), (6) は変わらない。今述べた方法は、波の動的影響、浮体動揺の影響や浮体による波の変形の影響などを考慮しておらず、精度的には問題があるものの、安全側の曲げモーメントの値が求まること、および取扱いが簡便なことから広く用いられている。

(2) 乾舷の小さな場合の曲げモーメント

沈埋函の乾舷が非常に小さいので、Fig. 4 のように函体頂面上に波を被る。波の被っていない断面(A)では、函底には断面の吃水  $h_a$  に相当する水圧  $\gamma h_a$  が作用する。一方波が被っている断面(B)では、函底には  $\gamma h_b$ 、また頂面にも  $\gamma(h_b - h)$  の水圧が作用し、両者合わせて  $\gamma h$  の水圧が断面に作用する。(1) の取扱いでは函体頂面上の水圧を考慮していないので、乾舷の小さい場合では曲げモーメントを過大評価する。この時、以下の定式化ができる。(1) で述べたように最大曲げモーメントは  $k = 1$  付近で生じるので、この条件で考える。

静水中での函体の乾舷を  $f$  と書くと、波浪中で函体は重量と浮力の釣り合いを満たすように  $\alpha$  だけ沈下する。

Fig. 5 で函体頂面は  $y = f - \alpha$  のため、これと水面の交点を  $x = x^*$  と書くと、

$$x^* = \frac{L}{2\pi} \cos^{-1} \left( \frac{\alpha - f}{a} \right) \dots\dots\dots (7)$$

となる。水面変動による浮力の変化のみ考えているので水面上の函体の体積は常に静水時に等しいので、

$$2B \int_0^{x^*} (f - \alpha + a \cos \frac{2\pi x}{L}) dx = fBL$$

が成り立ち、これは、

$$f\pi = (f - \alpha) \frac{2\pi x^*}{L} + a \sin \frac{2\pi x^*}{L} \dots\dots\dots (8)$$

となり、式 (7), (8) を連立して  $\alpha$  と  $x^*$  が求まる。

位置  $x = t$  での曲げモーメント  $BM$  は下記のように求まる。

$-L/2 \leq t \leq -x^*$  の場合

$$BM = \gamma B \int_{-L/2}^t f(t - x) dx = \frac{\gamma B f}{2} (t + L/2)^2 \dots\dots\dots (9)$$

$-x^* \leq t \leq 0$  の場合

$$BM = \gamma B \left[ \int_{-L/2}^{-x^*} f(t - x) dx + \int_{-x^*}^t (\alpha - a \cos \frac{2\pi x}{L})(t - x) dx \right]$$

これは、式 (7), (8) を用いて、下式となる。

$$BM = \gamma B \left[ \frac{f}{2} (x^* - L/2)^2 + \frac{\alpha}{2} (t^2 - x^{*2}) + \left( \frac{L}{2\pi} \right)^2 \left( a \cdot \cos \frac{2\pi t}{L} + f - d \right) \right] \dots\dots\dots (10)$$

$0 \leq t \leq L/2$  の場合は、 $BM$  が  $t = 0$  に対称であることから求まる。

(3) 乾舷の違いによる曲げモーメントの変化

(1), (2) で求めた函体中央での曲げモーメントの値を Fig. 6 に示す。これは、シドニー・ハーバー・トンネルの標準的な函体の諸元 ( $L = 120$  m,  $B = 26.1$  m,  $f = 0.46$  m, 高さ 7.43 m, 重量約 26,000 tf) に基づいて

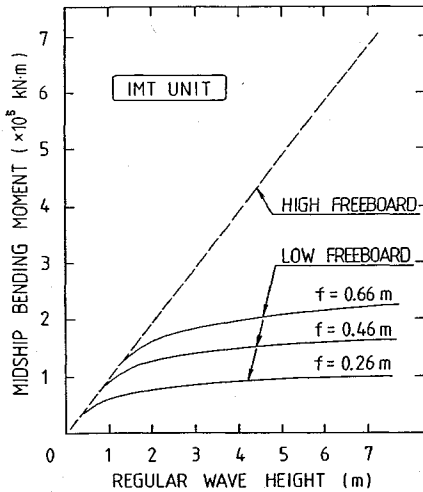


Fig. 6 Midship Bending Moment for IMT Units

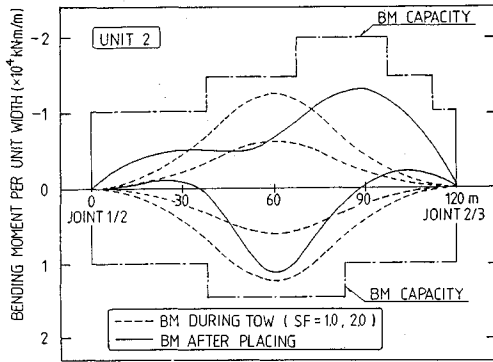


Fig. 7 Bending Moment Distributions for IMT Units

得られたもので、乾舷の値を変化させた場合も示した。図から乾舷が十分に大きな場合は波高に比例して曲げモーメントが増加するが、沈埋函のように乾舷の小さな場合は頂面に波が被る状態になると曲げモーメントの増加率が著しく減少することがわかる。また曲げモーメントの値は乾舷の値により敏感に変化し、曳航時の曲げモーメントの評価という点からも沈埋函の重量管理が非常に重要なのが分かる。

(4) 波浪による曲げモーメントと函体強度

a) トンネル完成時の曲げモーメントと函体強度

沈埋函の設計では、トンネル完成時の函体に作用する最大荷重状態（終局状態）での断面力の検討などにより函体の強度を決定している。終局状態の曲げモーメントの値は、函体の位置や地盤条件等により異なるが、代表的な例として第2号函に作用する函体長軸方向の分布（単位幅当り）を Fig. 7 に実線で示す。図中で JOINT 1/2 とあるのは、2号函の1号函側の端部を示す。これは函体上への土砂の堆積、船舶の函上への沈没および基礎の部分的な喪失が同時に生じた場合のもので、これか

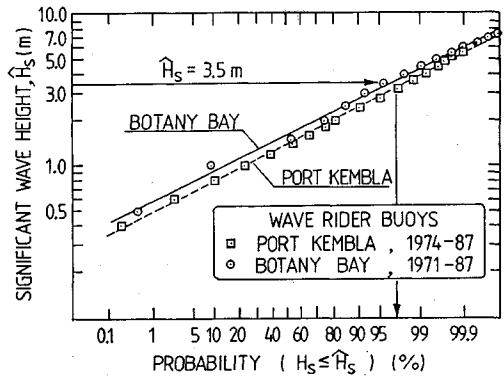


Fig. 8 Wave Height Distributions for the Towing Route

ら各断面の必要鉄筋量を定め図中に一点鎖線で示したような函体の強度を決定した。

b) 曳航時の限界波浪条件

ここでは函体の曲げモーメントに対する強度より決る曳航時の限界波浪条件を求める。

波高7mの規則波中で函体に作用する曲げモーメント分布を式(9)、(10)より Fig. 7 に示す。(1)で述べたようにこうした静的解析は実際の函体に生じる曲げモーメントよりも安全側の値を示すものと思われるが、乾舷が小さいという特殊条件も考えて2.0の安全率を取り、式(9)、(10)の値を2倍に割り増した場合も示した。2.0の安全率を考えた場合でも曳航時に作用する曲げモーメントは a) で述べた函体の強度よりも小さく、波高7mの条件下でも函体は十分な強度を持っているのが分かる。有義波高3.5mの波の最大波高は7m程度であるので、 $H_{sig}=3.5m$ を曳航時の限界波浪と定める。

つぎに曳航海域の波浪条件を考える。Fig. 8 にケンペラ港およびボタニー港沖2~5海里の海上に設置されたブイ式波高計で計測された波高の出現確率を示す。限界波浪以下の波浪の出現確率は95%以上であり、曳航開始時に十分な気・海象条件の予測を行えば、曳航限界の波浪に遭遇することなく曳航作業が実施できると考えられる。

このように矩形断面ドライドック方式の沈埋函を用いた今回の場合でも、外洋曳航中に作用する曲げモーメントは函体の強度を決める支配要因とはならず、むしろトンネル完成後の終局状態での曲げモーメントより沈埋函の断面が決定されたのが分かる。他のプロジェクトの沈埋函でも、曲げモーメントに対する函体の強度は本工事の沈埋函と大差はなく、こうした外洋曳航作業が十分可能と思われる。

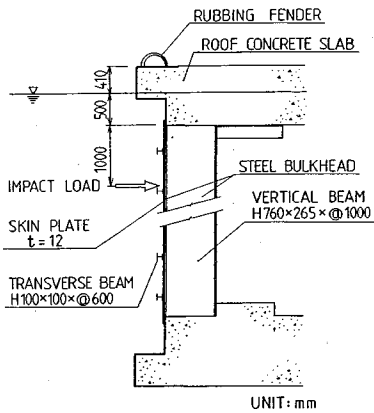


Fig.9 Structure of Bulkheads (Side view)

#### 4. バルクヘッドに作用する流体力の検討

沈埋函の両端部はバルクヘッドと呼ばれる仮止水壁を取りつけ、沈設・接合作業が終了するまでの間函体が水密性を保つようにしている。バルクヘッドは撤去の容易性・止水性から一般に鋼製であり、本工事で Fig.9 に示す構造とした。バルクヘッドに作用する曳航時の外力は流体力と漂流物との衝突時に生じる衝撃力であり、ここでは前者を考える。

バルクヘッドに作用する流体力は、通常のバージなどの船体外板が受ける力と同じであり、各国の船級協会が定めた船舶規則などに算定方法が示されている。ノルウェー船級協会の指針<sup>3)</sup>では、バージ前面の外板が20年間の航行中に遭遇する最大動的水圧として、 $D$ 、 $L$ をバージの高さ・長さ (m)、 $V$ を曳航速度 (kt) として、

$$P_d = 10D \left\{ 0.8 + 0.75 \left( 0.8 + \frac{V}{6.1\sqrt{L}} \right) \right\} (kPa) \dots\dots (11)$$

なる式が示されており、諸元を代入すると  $P_d = 107 kPa$  となる。バルクヘッドの下端では、これに静水圧を加えて約  $160 kPa$  の圧力となる。

一方バルクヘッドは函体沈設後の静水圧に対しても設計されており、これは水深 24.7 m と潮位 1.1 m を考えて  $265 kPa$  の値が用いられている。つまり、曳航中のバルクヘッドに作用する流体力は沈設後の水圧に比べて小さく、設計の支配要因となっていない。

#### 5. 波浪中での運動性能等に関する検討

沈埋函の乾舷が著しく小さいため、施工時と相似の条件にて水理模型実験を行い、外洋曳航時の波浪中での函体の安定性・制御性等について検討した。実験は、(株)熊谷組の技術研究所にて基礎実験を、オランダの Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) にて詳細実験を行った。ここでは、Table 1 に主たる実験内容

Table 1 Program for the Detailed Test

NO	TEST NAME	WAVE DIR.	TOW SPEED	WAVE CONDITION
A	PILOT TOWING TEST	180 deg	3.5~4.6 kt	$H_{sig} = 2.1\text{--}3.5 \text{ m}$ , $\bar{T} = 6.7\text{--}8.6 \text{ s}$
B	TOWING TEST IN CALM	180	2~8	—
C-1	TOWING TEST IN WAVES	0, 180	2, 4	$H = 2\text{--}5 \text{ m}$ , $T = 6\text{--}10 \text{ s}$
C-2	ditto	45, 90, 135	4	ditto
C-3	ditto	90	4	$H_{sig} = 4 \text{ m}$ , $\bar{T} = 9 \text{ s}$

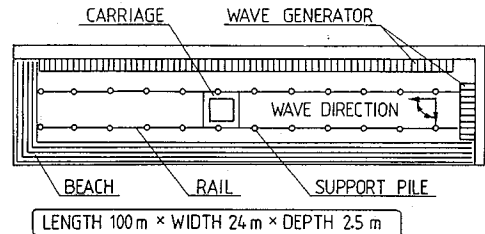


Fig.10 Seakeeping Basin

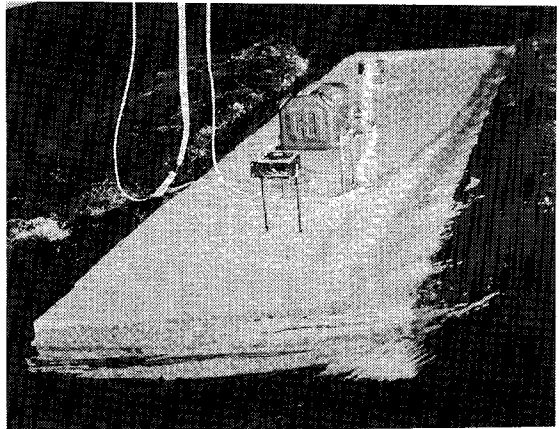


Photo 3 Towing Test in Beam Seas

を示した詳細実験に基づいて検討する。

模型は、実験 A では 1/70、他の実験では 1/40 の縮尺とし、重量分布・浮体の外形をフルード則に基づき実機と相似にした。実際の沈埋函の乾舷の値は、439~516 mm (平均 466 mm) に対し、模型では 480 mm (実機換算値) と非常に近い値となっている。また曳航索も実際の索の剛性 (31 kN/m) と相似のスプリングを用い、施工時と同様に函体頂面上のボラードに接続した。実験 A は、リモコン操作で自航する曳船模型にて函体模型を曳航し、他の実験では水槽に設置された曳航台車にて函体模型を索引した。向い波・追い波状態の実験は、いわゆる 2次元水槽である浅海水槽 ( $L = 230 \text{ m} \times W = 16 \text{ m} \times h = 1.0 \text{ m}$ ) で実施し、横波・斜波状態の実験は Fig.10 に示す任意の入射角の波浪中の曳航実験が可能な耐航性水槽にて実施した。実験では、模型の運動、曳航索の張力、入射波の波高および曳航速度を測定した。

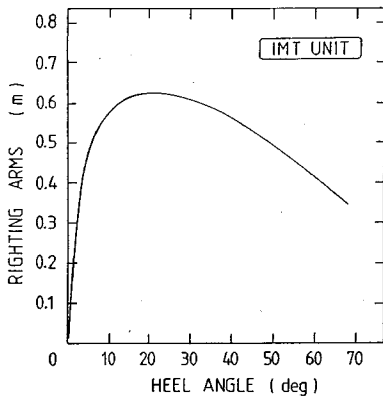


Fig.11 Righting Arms of the IMT Units

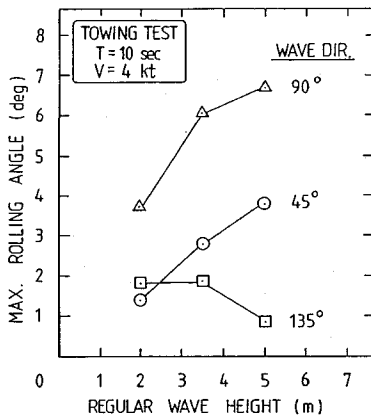


Fig.12 Max. Rolling Angle of the IMT Units

実験状況を **Photo 3** に示す。

### (1) 復原性能

函体は曳航時に作用する外力で傾斜した場合でも、十分の復元力を持つことが転覆しないために必要である。函体の復元特性を表わす復元てこ（横方向）を参考文献4)の方法で計算したのが **Fig.11** である。乾舷が小さいにもかかわらず、函体は60°以上の大傾斜時にも正の復元てこを持っており、きわめて安定している。

曳航中に函体に作用する外力としては、乾舷は小さく風荷重は無視できるので、波による力のみを考えればよい。横波・斜波中の函体の傾斜角は動揺の大きな波周期10秒、曳航速度4ノットの条件でも **Fig.12** に示す程度の値であり、**Fig.11** を考えれば函体は転覆に対して十分安定なことが分かる。また、有義波高4mの横波中での不規則波実験でも函体は十分に安定しているのが確認された。

### (2) 運動性能

函体が完全に没水した時の浮力を函体重量で除した値は、乾舷の大きさを示すパラメータで沈没に対する安全率を示している。今回の外洋曳航時のこの値は1.07程

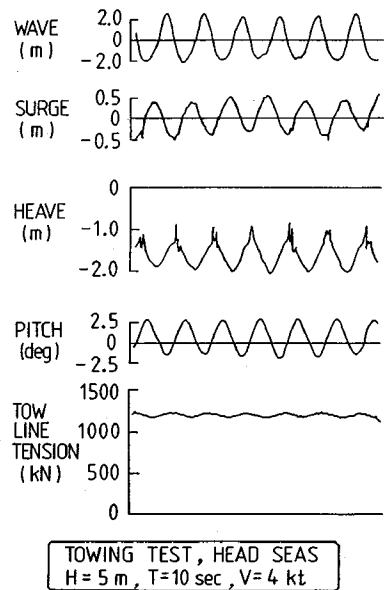


Fig.13 Motion of the IMT Units in Heading Seas

度と一般の船舶・浮体構造物に比べると非常に小さい値であり、厳しい波浪条件下でも函体に不安定な運動が生じないか検討した。

函体運動の代表例として、波高5mの向い波中の曳航実験結果を **Fig.13** に示す。函体の頂面上には波が被り函体は沈下するが沈下量は約1.6mと一定値であり、これを中心に入射波と同じ周期の定期的なヒープ運動が生じている。本工事で曳航アンカーを函体頂面上にとつたため、曳船の索引力により函体が著しく前方に傾斜したり、さらにこの状態に波が被って不安定な運動をしないか懸念されていたが、波高5m曳航速度4ノットの条件下でも函体の前方傾斜は0.7°と問題にならない値で、函体の運動も安定していた。曳航索に働く張力はわずかながら変動しているがほぼ一定と非常に安定しており、索に過大な張力が加わる等の現象は生じていない。

他の実験でも同様の現象が観察され、懸念されたような沈下が継続的に進行し函体の制御が困難となるなどの不安定な現象は生じないことが確認された。

### (3) 針路保持性能

曳航中の函体は横波や斜波を受け、回頭が生じたり横方向に流されたりする。**Fig.14** に示す有義波高4mの横波中の曳航実験結果によると、函体は最大で20°程度の回頭を生じ、20m程度曳航路より横に流される。また、斜波中曳航実験でも、最大回頭角は約20°と曳航作業に支障はなく、こうした事からたとえ函体の後方に舵取用の曳船を配置しなくとも、曳航中函体の針路保持について問題のないことが分かった。

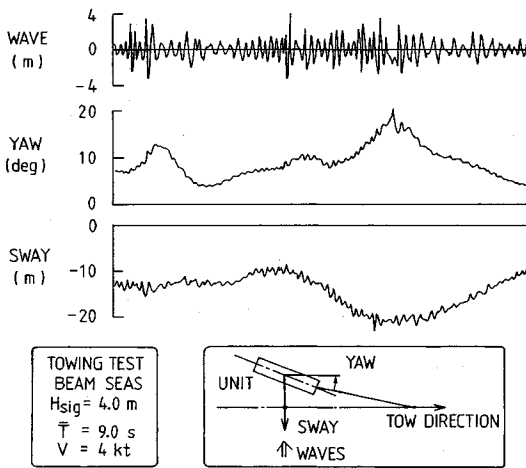


Fig. 14 Motion of the IMT Units in Beam Seas

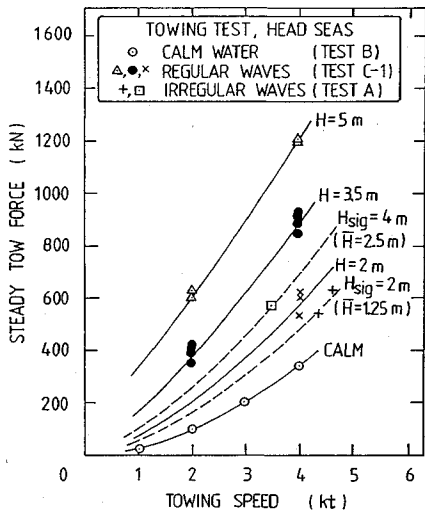


Fig. 15 Steady Tow Force of the IMF Units

(4) 所要曳航力

函体を所定の速度にて曳航するのに要する曳航力について考える。静水中および向い波状態での曳航実験で得られた曳航索に作用する定常曳航力を Fig. 15 に示す。同一の曳航速度にてデータが複数あるのは、複数の波周期を用いて実験が行われたためである。実験は、規則波および不規則波の両者で行い、不規則波の場合には有義波高 ( $H_{sig}$ ) と共に平均波高 ( $\bar{H}$ ) も図中に示した。不規則波実験のデータ数は少ないが、図から曳航力の評価では不規則波の場合には平均波高 ( $\bar{H}$ ) が規則波での波高 ( $H$ ) にほぼ相当するのが分かる。

一般に波浪中での定常曳航力は、静水中での曳航力に下式で与えられる波漂流力を加えたものと考えられる。

$$F_d = \frac{1}{2} \gamma \cdot R \cdot \left(\frac{H}{2}\right)^2 \cdot B \dots\dots\dots (12)$$

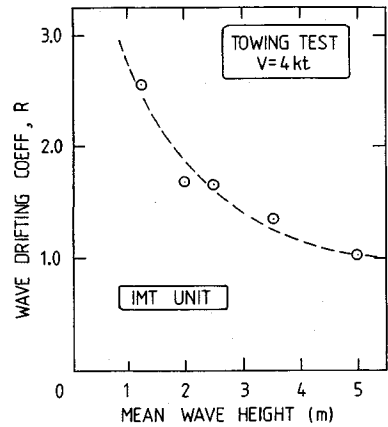


Fig. 16 Wave Drifting Coeff. of the IMT Units

ここで  $R$  は波漂流力係数 (WAVE DRIFTING COEFF.) と呼ばれ、この値を Fig. 15 に実線または破線で示した曳航速度 4 ノットの場合を用いて各波高ごとに求めると Fig. 16 のように求まる。船舶などでは  $R$  は 1 以下である場合がほとんどであるのに、沈埋函では函体の沈下・波被りのために非常に大きな値となっている。

曳航索に作用する最大張力を評価するには、曳船と函体との相互作用を再現する必要があり、実際の曳船に近い大きさの自航タグによる曳航実験 (実験 A) を行った。曳航索に作用する最大張力を定常曳航力で除した値を動的増幅率と呼ぶと、有義波高 2.1, 3.5 m の不規則波中でこの値は各々 1.30, 1.60 であり、剛性の低い曳航索を用いたため比較的小さな動的増幅率となっている。

6. 漂流物との衝突に関する検討

船舶などでは、漂流物との衝突等で船体に損傷が生じ内部に海水が流入しても浮体としての安定性が損なわれないように、内部を隔壁で区切り浸水区域が広がらないようにしている。ここでは、外洋曳航時の沈埋函の損傷の主たる原因である漂流物との衝突について、衝突時の衝撃力と函体強度の関係、衝突の危険性等を検討し、函体内部を隔壁で区切る等の措置の必要性の有無を論じる。

(1) 衝突時の衝撃力と函体強度

a) バルクヘッドへの衝突

沈埋函端部のバルクヘッドは Fig. 9 に示す構造であり、バルクヘッド上の水面部にはコンクリートの断面が張り出しており、直接木片等の漂流物がバルクヘッドに衝突することは非常にまれと思われる。しかし、万一の場合を考えバルクヘッド上端より 1 m の位置で衝突が生じたとして検討する。

漂流物の質量を  $m$ 、衝突時の漂流物と沈埋函の相対

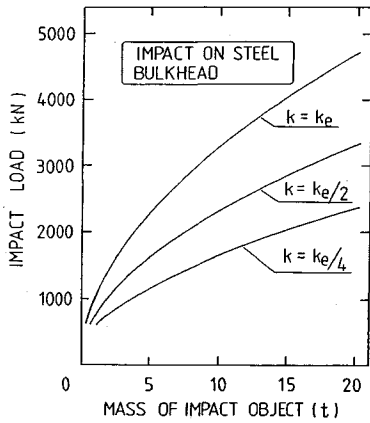


Fig.17 Impact Load on Bulkheads

速度を  $v$ 、衝撃力および衝突時のバルクヘッドの変位を各々  $P, S$  と書くと、簡単のため漂流物の付加質量を無視すれば、エネルギーの釣り合いより、

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}PS$$

が成立し、衝突時のバルクヘッドの剛性を  $k=P/S$  と書けば、下式ようになる。

$$P = \sqrt{mk} \cdot v \dots \dots \dots (13)$$

スキンプレートおよび水平補剛材を無視し、衝撃力が1本の主桁に作用すると仮定する。このとき、弾性論より求まるバルクヘッドの剛性  $k_e$  は、 $k_e=275 \text{ KN/mm}$  となるが、主桁の耐力が発揮されるような大変形時には  $k$  の値は  $k_e$  よりかなり小さいと思われる。 $v$  を4ノットとすれば、漂流物の質量をパラメータにして、Fig.17のように衝撃力が求まる。一方、単純梁に作用する荷重を考えれば主桁の耐力は1本当たり2200KNとなるので、例えば  $k=k_e/2$  の場合を考えると、Fig.17よりこれは質量9t程度、木片の場合で  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 10\text{m}$  程度の大きさのものが衝突した場合に相当する。このような大きな漂流物が衝突する場合、衝撃力は単独の主桁で支持されるとは考えられず、複数の主桁で支持されより大きな耐力が発揮されると思われる。

b) コンクリート部材への衝突

沈埋函の外壁への衝突を考える。衝撃力の作用範囲を直径1mの円とすれば、厚さ90cmのコンクリート壁の押し抜き破壊を考えて壁の耐力は26,000KNと求まる。先に考えた衝撃力と比べて十分な強度がある。

(2) 衝突の危険性

上記の検討で沈埋函のコンクリート部材は十分な強度を持つものの、バルクヘッドについては質量が9tを越えるような大きな漂流物が直接衝突すると、損傷の危険のあることが分かった。このような問題となる衝突は、

- ① 質量が9tを越えるような漂流物が外洋曳航作業



Photo 4 Mooring of the IMT Units at Multi-purpose Berth

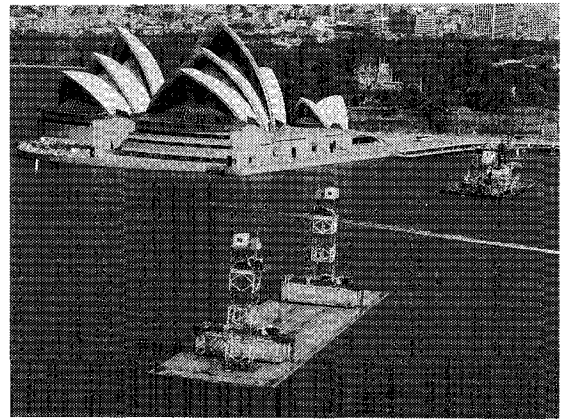


Photo 5 Sinking of the IMT Units

時に曳航ルートに存在し、

- ② それが沈埋函の先端に衝突し、
- ③ コンクリート張出し部を避けてバルクヘッドに衝突し、
- ④ 少数本の主桁にのみ衝撃力が作用する

こうした現象が同時に起こる場合に生じ、これは非常に小さな確率と考えられる。しかしながら衝突の危険性をゼロに近い程度に減じるため、事前に曳航海域をヘリコプターで飛行し、漂流物がないことを確認のうえ曳航作業を開始することとし、函体内部を隔壁で区切る等の措置は必要ないと判断した。

7. 外洋曳航作業

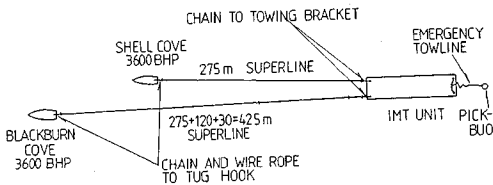
(1) 作業手順

沈埋函の製作が完了するとドライドック内に注水を行い、浮上した函体を引き出し、近接した穀物倉庫棧橋に仮係留した (Photo 4)。ここで外洋曳航のための準備作業 (曳航索取り付け、アクセス・ハッチ扉のシール、漏水モニターカメラ設置等) を実施し、条件が整い次第シドニー湾内の艀装ヤードまたは仮置きヤードまで外洋曳航作業を実施した。ついで沈埋函に沈設作業のための



**Table 2** Sea/Weather Conditions for the Ocean Towing

TOWING CONDITION		
WIND	N.E.	UP TO 15 kts
	S.E.	UP TO 10 kts
	OFFSHORE COMPONENT	UP TO 20 kts
WAVE	UP TO H <sub>sig</sub> = 2.0 m	
SWELL	UP TO H <sub>sig</sub> = 2.0 m	



**Fig.18** Towing Arrangements for the Ocean Towing

艀装（アライメント・タワーの据付け、沈設用ポンプの搭載、沈埋函係留用テークル設備の配置、沈埋函頂面の防水膜保護コンクリート（ $t=100\text{ mm}$ ）の打設等）を完了後、所定の位置に曳航・沈設した（Photo 5）。

沈埋函頂面の防水膜保護コンクリート（ $t=150\text{ mm}$ ）は、 $50\text{ mm} \cdot 100\text{ mm}$ の2層に分け、前者はドライドックにて、後者はシドニー湾内の艀装ヤードにて打設した。これにより外洋曳航時には函体の乾舷は約 $450\text{ mm}$ となり、5章の実験で明らかになったように、沈埋函は十分に安定した状態で曳航できる。また沈設作業が必要である沈設荷重（ $350\text{ tf}$ ）も、函体内部のバラストタンクに海水を注水することで十分に確保できる。

(2) 気・海象条件

曳航作業を安全に行うために、次の条件が必要である。

- ① 外洋曳航に要する時間が24時間以内となるような気・海象条件で曳航すること。
- ② 函体に作用する波浪は有義波高 $3.5\text{ m}$ を越えないこと。

①は曳航に要する時間が長びくと気・海象条件が悪化する危険性があるので設定された。②は、3章で述べた曲げモーメントに対する函体強度より必要とされる条件である。

上記を満すものとして、Table 2に示す気・海象条件を定め、曳航中にこの条件を満すような気・海象予報が得られた場合に曳航作業を開始した。気・海象予報は気象庁および民間の専門家からの情報を利用した。また、海上に設置された波高計で得られる毎時間ごとの波浪情報を入手し、曳航中の海象条件の変化を注意深く監視した。

(3) 曳船配置

Fig.18に外洋曳航時の曳船配置を示す。曳船は

SHELL COVE および BLACKBURN COVE の2隻で、合計の曳航力は $840\text{ KN}$ である。この場合、有義波高 $3\text{ m}$ の波浪に遭遇した時でも、Fig.15より4ノット以上の曳航速度を維持できる。進行方向と逆向きの潮流を1ノット考えても、3ノット以上の対地速度が得られ、外洋曳航区間は約48海里より曳航作業は24時間以内に十分完了する。

主曳航索には最大張力を減じる目的で、オーストラリアで十分な実績のあるスーパーラインと呼ばれるポリエステル製の低剛性の索を用いた。また、外洋曳航時は5章で述べたように函体後方には舵取用の曳船は配置していない。ケンベラ港およびシドニー湾内を曳航時には曳航索の長さを縮め、さらに函体の後方に舵取用の曳船を接続して函体の方向制御を容易に行えるようにした。曳航索および非常時の曳航索は、函体頂面に設置した曳航用アンカーやボラードに接続した。函体の端部鋼殻頂面上には、鋼管を2つ割りにした防舷材を取り付け（Fig.9）曳航索および函体を保護した。

(4) 曳航ルート

曳航ルートはFig.2に示した岸から約5海里沖のルートとした。これは下記を考慮して決定した

- ① 岸から離れすぎたルートとすると、曳航距離が長くなり、曳航に要する時間が増し、気・海象条件の悪化する危険性が増す。また曳船や曳航索に事故が生じた場合も、救助のための曳船が到着するのに時間を要し、迅速な対応がとれない。
- ② あまり岸に近すぎると、函体の制御ができなくなった非常時に、函体が波により漂流し短時間で座礁の危険性がある。

(5) 非常時の対応

曳航作業前には、曳船・曳航索などを十分検査し問題がないことを確認の上作業を開始したが、万一の非常時には以下の対応をとることとした。

a) 曳船の故障時

故障した曳船を函体から切り離す。ケンベラ港、ボタニー港およびシドニー湾の3地点には救助船を待機させ、故障が生じた海域に最も近い所より救助船を急行させる。そして、Fig.18に示した函体後方に接続した非常用の曳航索を回収し救助船に接続する。曳航作業は前方1隻の曳船にて実施し、これにも故障が生じた場合は後方の曳船で曳航を行う。

b) 曳航索破断時

破断した曳航索に接続している曳船を切り離し、これに函体後方の非常用曳航索を接続し、a)と同様に前方の曳船にて曳航作業を続行する。

c) 避難港

上記のような非常時や、気・海象条件が急変した場合などには、ケンベラ港への引き返しやボタニー港への避

難が可能なように、関係諸機関に連絡して万全を期した。

#### (6) 漏水に対する対策

##### a) CCTVカメラによる漏水モニター

外洋曳航時の沈埋函は、沈設作業時と同様に完全な水密性を持っているが、6章に記したような漂流物との衝突などによる万一の漏水を考え、函内にCCTVカメラを設置して漏水がないかどうかのモニターを曳船上にて常時行った。これにより、万一漏水が生じていても、避難港への曳航等の迅速な対応ができる。

##### b) 函体構造の配慮

沈設後の沈埋函には、函底下に砂またはモルタルによる基礎を造成する必要がある。この作業は函体の下床版を貫通して埋め込んだ管を用いて函内より砂の吹き込みやモルタルの注入を行うことが多い。この場合、多数のバルブが下床版に設置されるので、曳航時の波圧等によりバルブが損傷を受け、海水が流入するという事態も起こりうる。このため本工事では函外よりこの作業を行うこととし、下床版にバルブ等は設置しないこととした。

## 8. 結 語

最近まで沈埋函の長距離外洋曳航作業は、鋼殻方式の場合で行われたにすぎず、矩形断面ドライドック方式では不可能であると考えられてきた。しかしながら、本報告に記した検討により、矩形断面ドライドック方式の沈

埋函でも外洋曳航作業は十分可能であることが判明した。

このことにより、トンネル建設地点から離れた場所にドライドックを設置することが可能となり、トンネル周辺にドライドック用地を確保できない場合や、過去の工事で使用した遠方のドライドックを再利用する場合などでも、この方式の沈埋函を採用できる。

また、トンネル建設地が住宅地域に近接し、工事公害等への配慮が必要な場合には、ドライドックをここから離れた地域に設置しトンネル建設地区での工事量を減じるなどの方法も可能となった。

#### 参 考 文 献

- 1) Saito, N. and Neilson, A.M. : Sydney fords the harbour by driving under water, *Tunnels & Tunnelling*, pp. 43~46, Oct. 1990.
- 2) Tomlinson, M. J. et al. : Shell composite construction for shallow draft immersed tube tunnels, *Immersed tunnel techniques*, Proc. of the Conf. by Institution of Civil Engineers, pp. 209~220, 1989.
- 3) Det Norske Veritas : Guidelines for the design, construction and classification of floating concrete structures, Appendix 1, 1979.
- 6) 元良誠三監修：船体と海洋構造物の運動学，成山堂，pp.15~19, 1982.

(1991.4.3受付)

## OCEAN TOWING OF THE IMMERSSED TUBE UNITS FOR THE SYDNEY HARBOUR TUNNEL

Naotake SAITO and Akira YAMAZAKI

The Sydney Harbour Tunnel is being constructed using the immersed tube (IMT) method to solve Sydney's cross-harbour traffic problem. Since there was no suitable site for construction of the IMT units around Sydney Harbour, they were constructed at Port Kembla, about 70 km south of Sydney, and towed through the open sea to the tunnel site. As IMT units of rectangular concrete section, as used for the Sydney Harbour Tunnel, had previously been towed only short distances in sheltered waters, this was the first experience of such long ocean towing. This paper reports on the background of the ocean towing, the behaviour of the IMT units during towing (external loads, strength, stability, motion, towing force etc.) and on details of the towing operation.

# 内容紹介

# 土木学会論文集 内容紹介

No. 421/VI-13, 1990.9

## 地下水低下工法による砂質地山におけるトンネル切羽の安定

國見 宏・河野伊一郎・西垣 誠

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp. 87~94, 1990.9

地下水低下工法を採用したトンネルおよび周辺部の地下水低下状況を把握するために、有限要素法による地下水の準三次元浸透解析を行った。地下水分布の解析値は実測と比較的によく一致することがわかった。さらに、ウェルポイントによる地下水制御効果を判定するために、鉛直二次元飽和-不飽和浸透流解析により、切羽周辺の土中水分の経時的変化を検討した。掘削に伴ってウェルポイントを設置し、切羽の水分量を管理することにより切羽の安定を図りうることが明らかとなった。

## ファジィクラスタリングを用いたトンネルにおける変状可能性の定量的評価法に関する提案

鈴木昌次・古川浩平・井上洋司・中川浩二

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp. 95~104, 1990.9

トンネル施工中の変状可能性を定量的に予測するために変状事例に対してファジィクラスタリングを適用し、クラスター間の類似関係と事象の所属度を用いて変状可能性を表すメンバーシップ関数を求める方法を示した。メンバーシップ関数は実数値に集約され、可能性指標として提供される。さらにエントロピーの概念に基づき、クラスタリングに必要なパラメータの適正化、可能性指標の確信度評価に利用できる評価指標を定義した。

## ジオグリッド補強土壁の解析と設計

荻迫栄治・落合英俊

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp. 105~114, 1990.9

ジオグリッド補強土壁の機構や構造を考慮した合理的な設計法を確立することを目的として、ジオグリッドの引抜き試験で明らかにされた土中におけるジオグリッドの引抜きせん断抵抗特性を考慮した解析手法を用いて、ジオグリッド補強土壁の有限要素法解析を実施した。解析結果を用いて設計図表を作成することにより、新しい設計法に提案を行った。この設計法によれば、簡単な手順に従って迅速にジオグリッド補強土壁の変形の検討に基づいた合理的な設計を行うことができる。

## 碧南火力発電所貯炭場建設のための地盤改良試験工事

金谷嘉久・松尾 稔

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp. 115~124, 1990.9

軟弱地盤の設計では、地盤のもつ不確実性のため、観測的設計施工が有効である。広大な面積をもつ碧南火力発電所貯炭場では、軟弱層厚が大きく変化する地盤を沈下や支持力が均一な地盤に改良する目的で、砂杭併用の載荷盛土工法が計画されたが、この目的を合理的に達成するために事前に大規模試験盛土を実施した。その結果、得られた主な知見は盛土の安定管理、沈下予測および地盤強度の発現に関するものであり、本工事の設計施工に反映した。

## 岩盤データベースを用いた NATM の事前設計のための物性値

瀬崎満弘・Ömer AYDAN・市川康明・川本眺万

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp. 125~134, 1990.9

NATM の設計・施工におけるエキスパートシステムを支援するため、岩盤データベースを開発した。本研究は、このデータベースを用いて、各岩石の弾性波速度と密度、一軸圧縮強度、弾性係数およびポアソン比との関係と求めた。その結果より、NATM の事前設計に用いる岩盤の物性値を、岩盤と岩石の弾性波速度の比である割れ目指数を使って推定する方法を提案した。さらに、この方法を道路公団の岩盤分類に適用した。

## 飛行場コンクリート舗装構造の老朽度評価に関する一提案

木暮敬二・藤本一男・酒井 隆・松田隆繁

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp. 135~143, 1990.9

試験舗装および供用中の飛行場コンクリート舗装に対するたわみ、ひずみ、路盤支持力係数等の測定を実施し、舗装構造の老朽度評価における非破壊試験としてのたわみ測定の意義を明らかにした。老朽化の進行に伴って、荷重によって生ずるたわみが増大するという考え方にもとづいて、舗装の有効版厚および有効版厚比の概念を用いた舗装構造の老朽度評価手法を提案した。

## 沈下したプレストレストコンクリート舗装版のリフトアップ工法の開発

八谷好高・佐藤勝久・犬飼晴雄

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp. 145~154, 1990.9

埋立地や高盛土部の空港などでプレストレストコンクリート舗装が沈下した場合の補修方法を開発した。これは、沈下や不同沈下した舗装版において、沈下した部分にだけ後からジャッキ装着金具やジャッキの反力盤を設置し、これらに油圧ジャッキを取り付け、コンピューター制御により安全かつ迅速に舗装版をリフトアップして、舗装版と路盤との間にできた空隙を充填するものである。

## 光弾性実験によるトンネル交差部の応力性状

今田 徹・山崎良一・西村和夫

土木学会論文集 第421号/V-13, pp.155-163, 1990.9

縦流式換気方式を用いた長大自動車道路トンネルでは、換気設備のために本坑断面規模での交差部が生ずる。本研究は、トンネル交差部の覆工に生じる応力性状を明確にすることを目的とし、始めに弾性地山内にある内形および馬蹄形トンネルの応力性状、ついで粒状体地山を用いて円形トンネル交差部覆工の応力を三次元光弾性応力凍結法を用いて解析し、その結果に基づいてトンネル交差部の設計・施工の基本的な考え方を示したものである。

## ダム基礎岩盤グラウチングにおける注入量予測 —花崗岩を基礎とするダム—

廣田泰久・竹林征三・柴田 功

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp.195-202, 1990.9

ダム基礎カーチンググラウチングは最も重要な基礎処理であるが、所要のセメント注入量を予測することは困難だと考えられる。

現場で求めるルジオン値は、セメントグラウトの注入とは特定の関係がないとされていたが、本研究によって全注入セメント量は、初期のルジオン値の関数として示され、巨視的に予測ができることが明らかになった。

## コンクリート構造物の耐久性に及ぼす設計過程の影響

國島正彦・渡辺泰充

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp.165-174, 1990.9

耐久的なコンクリート構造物を得るためには、材料、設計および施工を考慮した総合評価に基づく設計システムが必要である。本論文では、設計レベルが、コンクリート構造物の耐久性に及ぼす影響について論じ、要求される耐久性レベルを満足する材料・設計・施工の各レベルの組合せはいく種類もあることを実験的に確かめた。さらに、耐久性に関する設計者の意図を、正確に施工過程に伝えるための新しい設計図の書式を提案した。

## 手動式削孔機を用いた硬岩トンネルのスムーズ プラスチック孔設計の最適化と実施工への適用

吉見憲一・鈴木雅行・古川浩平・中川浩二

土木学会論文集 第421号/VI-13, pp.203-212, 1990.9

本研究は、手動式削孔機を用いた硬岩トンネルのスムーズプラスチックによる発破方法において、発破に関する費用最小化の観点で最適化問題に取り組んだものである。設計変数を設計面と削孔機ビットの口切り位置との距離とした1変数最適化問題の定式化を試み種々検討した結果、最外周発破孔のトンネル軸方向に対する削孔角度の制御が最も重要であり、この機能を満足する削孔機の開発が急務であることを指摘した。

# 土木学会論文集 内容紹介

No. 427/VI-14, 1991.3

## 組紐状 AFRP ロッドで補強したコンクリートはりの疲労特性に関する実験的研究

三上 浩・武富幸郎・石橋一彦・能町純雄

土木学会論文集 第 427号/VI-14, pp. 85~94, 1991.3

耐蝕性に優れ、軽量で引張強度の高いアラミド繊維製の組紐状 AFRP ロッドをコンクリートの補強材に用いるための一検討として、ロッドで補強した RC, PC はりの曲げ繰返し載荷試験を最高 200 万回まで実施した。

また、異形鉄筋を用いたはりとの比較から、異形鉄筋と異なる付着特性や低弾性係数が疲労荷重下でのはりの耐荷性状に与える影響を明確にした。検討の結果、補強材として適用が可能と考えられるものの 2, 3 の留意点があることを明らかにした。

## シドニー・ハーバートンネル沈埋函の外洋曳航に関する実験的研究

新田良典・斉藤尚武・山口正記・富樫宏由

土木学会論文集 第 427号/VI-14, pp. 55~64, 1991.3

シドニー湾横断ルートの交通混雑緩和を目的としたシドニー・ハーバートンネルは、沈埋トンネル工法で現在建設が進められている。この工事の特徴は、沈埋函を函体製作ヤードのドライドックから沈設地点までの長距離かつ海象条件の厳しい外洋を曳航することにある。本稿は沈埋函曳航計画に必要な各種のデータを得るために行った曳航実験に関するものである。実験の結果、従来の乾舷を十分に有する浮体構造物には見られない動揺特性が確認された。この結果をもとに、曳航作業の限界条件についても述べている。

## シールド施工計画におけるエキスパートシステム適用に関する研究

市原義久・五十嵐善一

土木学会論文集 第 427号/VI-14, pp. 95~104, 1991.3

シールド施工計画の高度化、合理化を目的として、エキスパートシステムを開発した。本システムは専門技術者のもっている膨大な知識・ノウハウを知識ベースとして蓄え、施工計画の立案を支援するとともに、シールド機の自動設計を行うものである。本報告では、システム導入の経緯、知識ベースの構築方法、推論内容について述べるとともに、実際の施工計画事例に対する適用可能性について評価した。

## 衛星マルチスペクトルデータを適用した分級評価モデルの開発

小島尚人・大林成行

土木学会論文集 第 427号/VI-14, pp. 65~74, 1991.3

本研究では衛星データの実利用化を念頭に置き、土地利用計画策定段階での利活用を目指した新たな分級評価モデル（潜在因子モデル）を開発した。衛星データをはじめ国土にかかわる種々の地理情報を「潜在因子」として定義し、数量化Ⅱ類およびⅢ類を中核にミニマックス 2 群判別手法を用いて分級評価を行うモデルである。「現状型」、「規範型」、「仮定型」といった 3 つの評価プロセスを提案するとともに、従来手法による分級評価結果との精度を比較することによって潜在因子モデルの実用性を示した。

## シェルタに蛸集するアワビに与える各種の因子

間山正一

土木学会論文集 第 427号/VI-14, pp. 105~112, 1991.3

本稿は栽培漁業で重要な位置を占めるアワビの蛸集に与える因子について論じたものである。その結果、アワビは着礁時に分泌した粘液状物質に向かう性向をもっていること、結合材が異なっても同一配合のシェルタであるならばアワビの着礁率に差が無いこと、副産物フェライトの粒径の影響も無いこと、副産物フェライト量が多いほどアワビの着礁率が大きいこと、水槽底面に玉砂利を敷くとそれへの敵視行為からアワビはその面へは着礁しないこと等を明らかにした。

## エアサイド連絡橋における曲面加工部材の現場溶接の施工管理

早田修一・森 好生・横田 弘・三木千壽

土木学会論文集 第 427号/VI-14, pp. 75~83, 1991.3

エアサイド連絡橋では、「構造デザイン」を追求した結果、主塔及び主桁のコーナー部に曲面加工を施し、かつ部材の接合は曲面加工箇所を含めてすべて現場溶接を採用した。そのため、橋梁表面からボルトやリベットの凹凸を取り除くことが可能となり、曲面形状とあわせて美しい外観を浮かび上がらせることができた。溶接施工に当たっては、事前の施工試験とともに全線検査を含めた厳しい施工管理を実施したので、これらの結果について報告する。

## 音波・レーリー波によるシールド機の前探査に関する実験的検討

笠 博義・山森隆江・西田昭二・大賀一秀

土木学会論文集 第 427号/VI-14, pp. 113~122, 1991.3

都市域や海底にシールドトンネルを施工する場合、シールド機前方の障害物や地質の変化を事前に探査することが、合理的な施工のために必要である。このような背景から、筆者らは音波とレーリー波を用いた地中前方探査技術の開発のために屋外実験を行った。

その結果、各々の手法とも 7~10 m 前方までの直径 40 cm 程度の障害物が探査できることが判明した。両手法の併用により、さらに高精度の探査が可能となるものと考えられる。

## 単一走行車両による単純桁橋の低周波空気振動の解析

五郎丸英博・白石捷夫・原 公・小森 武

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.133~142, 1991.3

本研究では、車両走行に伴って単純支持桁橋から放射される低周波空気振動の音圧レベルの解析を行った。まず、合成桁橋において走行実験を実施し、放射音を計算する上で妥当な車両モデルの検討を行った。次に、周波数応答関数利用した放射音の計算法を提案し、その適用性を確認した。最後に、橋面凹凸と伸縮継手部の段差の影響について数値解析を行い、音圧レベルが速度パラメータ $\alpha$ と関連して変動することを明らかにした。

## 泥水シールド工事におけるスラリー輸送用ポンプ部品の摩耗量予測

深川良一・室 達朗・河原荘一郎・脇田 悟

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.153~162, 1991.3

本論文は、泥水シールド工事現場におけるスラリー輸送用ポンプ部品の摩耗に影響を及ぼす要因を総合的に分析し、より実務的に摩耗量および摩耗寿命を推定することを目的としている。特に地盤特性のうち粒度、石英含有量および粒子形状、またポンプ特性のうちポンプ回転数を取り上げ考察を加えた。以上の結果、ポンプ部品の摩耗量推定式が導かれたが、他現場への適用性も調べている。さらに摩耗寿命予測式を導いている。

## シェルタに蝟集するアワビに与える色の影響

間山正一

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.163~171, 1991.3

本稿はアワビの蝟集に与える因子について論じたものである。その結果、シェルタの色の属性が同じであるならばアワビの分布率の割合も同一であること、無彩色に近い色のシェルタの明度とアワビの分布率の割合は直線関係を持ち明度が高いほど分布率が小さくなること、有彩色のシェルタの明度と分布率の割合は彩度および色相の影響があるため直線にはならず、上に凸のゆるやかな曲線となること、彩度が低いほどアワビは蝟集されやすいこと等を明らかにした。

## 転圧コンクリート舗装の施工実験およびコンクリートの品質管理、配合修正方法に関する実験的研究

中原 康・万木正弘

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.173~182, 1991.3

転圧コンクリートに関して、室内および現場実験を行い、品質管理および配合の修正方法について検討した。その結果、コンシステンシー（修正VC値）および圧縮強度（曲げ強度）に影響を与える要因を明らかにし、前者は配合および骨材の品質、後者はC/Wおよび締固め率から推定する回帰式を提案した。また、修正VC値は $50 \pm 10$ 秒が施工性および締固め率から適切であることを明らかにした。

## 大深度低強度地山におけるトンネル設計の合理化

梨本 裕・高森貞彦・今田 徹

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.183~191, 1991.3

トンネルの支保圧—地山変位曲線（地山特性曲線）から掘削範囲（設計内空と覆工厚と地山変位の和）—地山変位曲線および施工費—地山変位曲線を作成し、支保圧と掘削範囲の最小（かつ極小）値に着目して、トンネルの安全性と経済性が両立する設計目標について検討した。この結果、最小掘削範囲は最小支保圧よりもトンネルの設計目標として優れており、大深度低強度地山においては最適設計目標になる可能性が高いと考えられる。

## 架空配電設備の震害事例調査および配電柱と地盤の変形特性に関する水平繰り返し載荷実験

桑原 洋・畠山 昭・清水全生

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.193~202, 1991.3

架空配電設備の震害事例を調査し、支持物の傾斜の原因は、地盤の支持力不足・地盤の液状化によることが多いこと、支持物の折損の原因は、支持地盤条件、架線・支線の影響が大ききこと、など耐震検討上の課題を確定した。また、水平繰り返し載荷実験の結果、舗装や根入れ長を深くすると支持条件の改善に大きく寄与すること、支持物の回転中心位置は根入れ長の $1/2 \sim 2/3$ 程度であること、作用曲げモーメントと傾斜角の関係はRamberg-Osgood型で考えてよいと、支持物の固有周期は $0.6 \sim 1.1$ 秒程度であること、など明らかとなった。

## 液圧を用いた岩盤・コンクリートの静的破碎工法の開発

野間達也・村山秀幸・門田俊一・上田滋夫

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.203~211, 1991.3

近年、市街地に近接した岩盤掘削工事が増大し、発破を使用できない場合が多く、さらにコンクリート構造物の解体工事においても静的に破碎する要請が高まりつつある。

本報告は、静的に岩盤・コンクリートを破碎することを目的とし、液圧を用いたゴムチューブ・鋼製載荷板による破碎機および破碎システムの開発について述べている。また、実際の使用事例として花崗岩岩盤斜面掘削およびコンクリート杭頭処理事例を示し、実施工への適用性について述べている。

## 連続長繊維を用いた補強土の力学的特性に関する基礎的研究

中山覚博・藤木広一・久楽勝行・三木博史

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.213~221, 1991.3

連続長繊維を用いた補強土の力学的特性を明らかにするため、一連の土質試験を実施し、以下の知見を得た。繊維混入の効果は見掛けの粘着力の増加となって現れ、その大きさは繊維混入比の増加とともに著しく増大する。補強土の中の繊維の緊張の度合や、砂の粒度特性と繊維の太さの組合せも補強土の強度特性に大きな影響を及ぼす。連続長繊維を混入した補強土は顕著な強度異方向性を有する。繊維の混入が補強土の透水係数に及ぼす影響は無視できるほど小さい。

**連続長繊維を用いた補強土壁を有する実物大盛土の降雨実験と安定解析**

久楽勝行・三木博史・中山覚博・藤木広一

土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.223~232, 1991.3

連続長繊維を使った補強土を用いて擁壁を築造し盛土補強を行う工法について、高さ5mの実物大盛土を使って降雨実験を行い、降雨条件下における補強盛土の安定性について検討してみた。実験の結果、補強土壁は降雨による浸食に対してかなりの抵抗性を有し、また壁厚が十分に暑い補強土壁を有する盛土の安定性の評価は、円弧すべり法および通常のコンクリート製もたれ擁壁としての安定解析手法を合わせて用いるのが妥当であるという結果が得られた。



圧密解析ソフトパソコンに上陸!!

未来設計企業

CRC

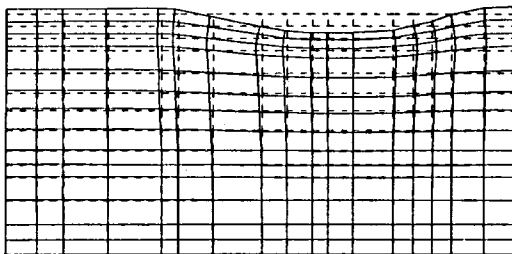
## 地盤の非定常圧密解析プログラム

# Mr. 圧密

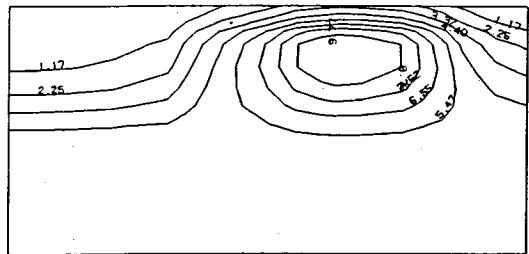
(特長)

- 非定常FEMによる線形弾性解析(christian系の解法)。
- 二次元平面歪解析。
- 要素として三角形・任意四角形が扱える。
- スケーリングをしているので安定して解が求まる。
- リスタート機能の完備。
- 入力はわかりやすいコマンド形式を採用(フリーフォーマット)。
- 図化処理(プロッタ、画像出力)等、豊富な機能を持つポストプログラムを完備。
- ジェネレート機能(長方形要素)により簡単にモデル作成が可能。
- 大モデルはそのままCRCネットワークでも(ホスト処理)可能。

販売価格：60万円 機種：NEC PC9800シリーズ 他



変形図



過剰間隙水圧コンター図

※EWS、汎用機用の圧密解析プログラム(逆解析も可能)として"UNICON"も用意しております。

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3  
(06)241-4121 営業担当: 岩崎

# 土と水の連成逆解析プログラム

未来設計企業  
**CRC**

# UNICOUP

応力解析と浸透解析がドッキングした!

軟弱地盤の解析に!

海洋開発・埋立

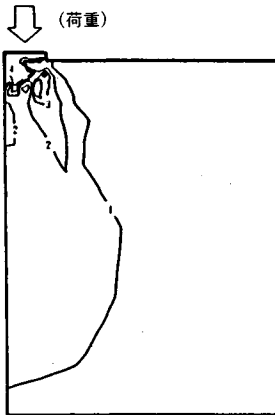
盛土・掘削

## 出力項目

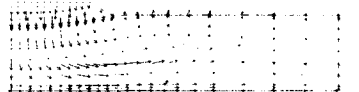
- 各節点での変位、各要素での応力
- 各節点での全水頭・圧力水頭 他
- 豊富な図化処理  
変位図、変位ベクトル図、応力ベクトル図、応力コンター図、安全率コンター図、水頭コンター図、圧力水頭コンター図

## プログラムの特長

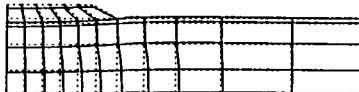
- 応力と地下水の流れをカップルさせた問題が解析可能です。(圧密含む)
- 地下水の流れは飽和・不飽和域を対象としています。
- 多段掘削・盛土や降雨等が扱えます。
- 梁や連結要素も扱え実用的です。
- 経時観測記録(変位・水位)があれば、非線形最小二乗法に基づき変形係数や透水系数が逆解析できます。(順解析、逆解析がスイッチにて選択可能です。)
- 弾性・非線形弾性・弾塑性・弾粘塑性を示す地盤が扱えます。  
非線形弾性(電中研式、ダンカン・チャンの双曲線モデル)  
弾塑性(ドラッカー・ブラガー、モール・クーロン、カムクレイモデル、ハードニング、ソフトニング)  
弾粘塑性(関口・太田モデル)



応力増分コンター ( $\Delta\sigma_v$ )  
(10日後)



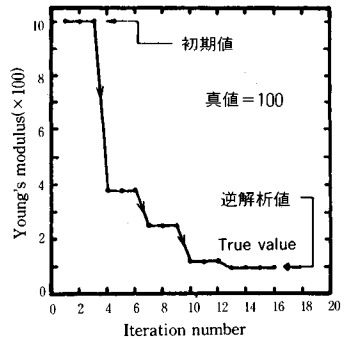
変位ベクトル図 (40日後)



盛土(40日)後の地盤の変形



盛土(40日)後の地下水の流れと水頭  
コンターおよび自由水面



ヤング率と繰り返し回数の関係

逆解析によるパラメータの推定

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

**IPA 情報処理振興事業協会**

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

問合せ先

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3

(06-241-4121) 営業担当: 岩崎

地球を切る! 視る! 創る!

未来設計企業  
**CRC**

3次元地質解析システム

# GEORAMA

ジオラマ

## 概要

地質調査で得られたデータを基に、利用者の判断を加味して3次元地質モデルを作成します。この3次元モデルより地質・岩級区分・地下水位等をグラフィック表示並びに作画します。今後この3次元モデルを利用して解析用メッシュ作成等への応用が考えられます。

## 特徴

- ・走向・傾斜データも考慮できる高度な推定法
- ・複雑な地質体モデルの表現が可能
- ・ビジュアルで豊富な出力機能
- ・図面間での整合性がとれる
- ・操作性の高いシステム

## 出力図面



## ユーザーインターフェースにより、拡がる適用分野

データベース    土量計算    構造物マッピング  
 メッシュジェネレータ    プレゼンテーション資料    その他

## 標準適応機種(EWS)

- ・SONY・NEWSシリーズ\*
- ・Sun-3, Sun4, Sun-SPARCシリーズ\*
- ・HP9000/300, HP9000/800シリーズ\*
- \*ウィンドウシステムとしてX-Window System, Version 11(X11)が必要です。(標準以外のものにつきましても御相談に応じます)

㈱アイ・エヌ・エー アイサウ工業㈱ アイトールエンジニアリング アサヒ地水探査㈱ ㈱エイトコンサルタント 応用地質㈱ 大阪ガス㈱ 大手開発㈱ ㈱大林組 ㈱奥村組 川崎地質㈱ 基礎地盤コンサルタンツ㈱ ㈱熊谷組 ㈱建設技術研究所 建設省 土木研究所 石洋建設㈱ 佐藤工業㈱ サンコーコンサルタント㈱ ㈱埼玉総合研究所 ㈱西電技術コンサルタント 清水建設㈱	㈱情報数理研究所 新日本技術コンサルタント 住友建設㈱ 住友建設㈱ 石油資源開発㈱ 全日本コンサルタント㈱ 大成建設㈱ 大成建設㈱ ㈱ダイノク ㈱ダイヤコンサルタント ㈱竹中工務店 中央開発㈱ ㈱地身科学総合研究所 中電技術コンサルタント㈱ 通産省 地質調査所 電源開発㈱ ㈱電力中央研究所 東急建設㈱ 東建地質調査㈱ 東京電力㈱	東電設計㈱ 東電ソフトウェア㈱ 東洋地質調査㈱ 動力炉・核燃料開発事業団 ㈱中環ワイルドコーナ 西松建設㈱ 日本工営㈱ 日本国土開発㈱ ㈱日本ペプリック エンジニアリング ㈱間組 ㈱阪神コンサルタント ヒロセ㈱ フジタ工業㈱ ㈱富士和ボーリング 北光シオリサーチ㈱ 北海道開発コンサルタント㈱ 三井建設㈱ 三菱金属㈱ 村本建設㈱ 明治コンサルタント㈱
--	--	---

3次元地質解析システム研究会 参加メンバー

