

大型グラブ船による大水深・急潮流下での岩盤掘削の高精度化、急速化の研究

後藤英一*・中川良隆**・城所靖夫***・
鈴木幹啓****

長大橋の橋梁基礎岩盤掘削では、ケーソン据付盤の最終仕上げに、精度を高めるためにダイバーあるいは自己昇降式海上作業足場 (SEP) による均しが実施されている。しかし、明石海峡大橋 3P 下部工工事では大水深・急潮流のため、従来の工法を採用することが不可能であり、大型グラブ船のみで短時間で岩盤掘削し、ケーソン据付盤を高精度に仕上げる必要があった。本研究は、大水深・急潮流下での岩盤掘削を、高精度かつ急速施工で実施する際の問題点を定量的に把握することを目的とし、その成果を明石海峡大橋 3P の海底掘削で実証したものである。

Key Words : grab dredger underwater bedrockexcavation, drag coefficient

1. はじめに

大型グラブ船は、関門海峡・来島海峡等の岩盤航路浚渫や黒之瀬戸大橋・瀬戸大橋等の橋梁基礎岩盤掘削に威力を発揮している¹⁾。しかし、その使用範囲は水深で最大 50 m (潮流速 3.5 kt = 1.8 m/sec.)、潮流速で最大 5.5 kt (水深 32 m) である。

グラブ船は図-1 に示すように台船にグラブ式掘削機を搭載したもので、陸上の掘削と異なり、掘削状況 (深さ、グラブバケットの傾き等) や岩質を直接目視することができないうえ、グラブバケットがワイヤーで吊った状態のため、姿勢制御は不可能である。また、掘削深度の測定は、通常グラブ船等の浮体に搭載した超音波測深機によらざるを得ないため、精度には限界がある。従って、表-1²⁾ に示すようにこれまで掘削精度の要求される橋梁基礎の場合、型枠となるケーソンの据付盤の最終仕上げはダイバーによる均し、あるいは図-2 に示すような自己昇降式海上作業足場 (SEP) を使用した大口径掘削機による均しにより確実に平坦性を得られる施工法を採用されている。明石海峡大橋 3P 下部工工事は、水深 57 m、最大潮流 8 kt の条件下で直径 78 m、高さ 67 m の基礎を構築するもので、大水深・急潮流のため、ケーソン据付盤の最終仕上げ作業にダイバーあるいは SEP を使用することは不可能であり、グラブ船による掘削のみで平坦なケーソン据付盤を形成する必要があった。また、急速施工の要請のため、沖積砂礫層約 100 000 m³、神戸層 62 000 m³ の掘削を約 1 年で完了さ

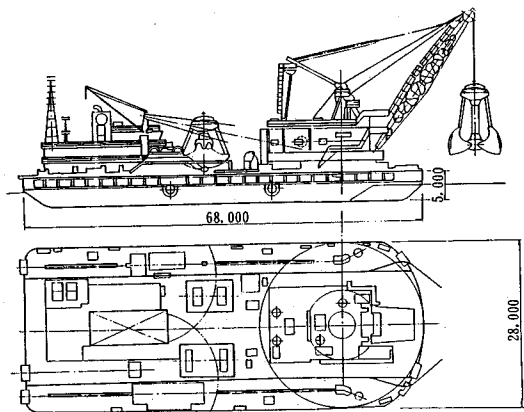


図-1 32.5 m³ 級グラブ船

せなければならなかった。既往のグラブ掘削の実施例や研究から考えると、この大水深・急潮流下での橋梁基礎岩盤掘削を実施する際の課題は、グラブバケットのみによる高精度掘削および急速施工であった。

本研究は、この問題点を解決し、大水深・急潮流下でのグラブ船のみによる高精度岩盤掘削を実現することを目的としたものである。

2. 本研究の背景

本研究着手の直接的な背景となった明石海峡大橋 3P 主塔基礎の岩盤掘削は、図-3 に示すように、最大潮流速 8 kt の地点で、海底地盤を最小径 108 m のスリパチ状に約 20 m 掘り下げる。掘削箇所の上層約 10 m は最大粒径 150 mm 程度の沖積砂礫層であるが、その下は神戸層砂岩と泥岩の互層となっており、この神戸層の一軸圧縮強度は上部の柔らかい所で 10~30 kgf/cm²、ケーソンの支持地盤付近では 50~60 kgf/cm² となっている。明石海峡大橋の主塔基礎は設置ケーソン工法を採用しており、直径 78 m (総重量 19 000 t) の円筒鋼製ケーソン

* 正会員 大成建設 (株) 技術本部 副本部長
(〒169 東京都新宿区百人町 3-25-1 サンケンビル)

** 正会員 工博 明石海峡大橋 3P 下部工大成・間・佐藤・東洋・日本国土共同企業体 所長

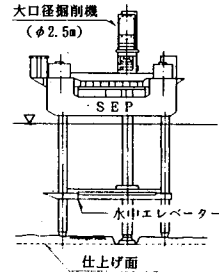
*** 正会員 明石海峡大橋 3P 下部工大成・間・佐藤・東洋・日本国土共同企業体

**** (財) 海洋架橋調査会 開発部長

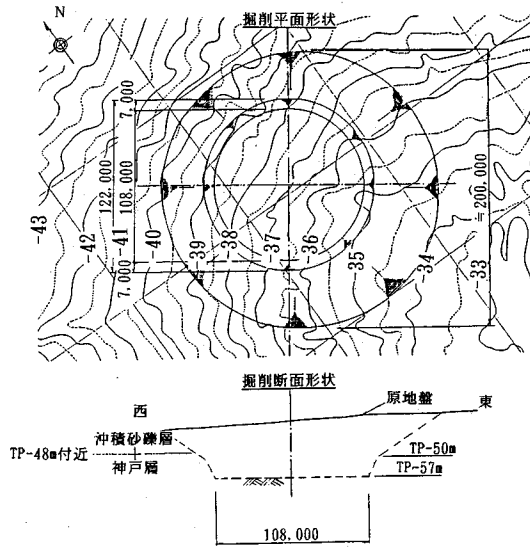
表一 瀬戸大橋海中基礎の施工概要

橋梁名	基礎名	基礎深度 (m)	最大潮流速 (kt)	基礎岩盤	施工方法				掘削量 (m ³)	工期 (月)
					発破	グラブ掘削	SEP	パイプ		
瀬石島橋	BB2P	-28	5.0	花崗岩	○	○	○		24.000	2.0(15.5)
	HB3P	-25	2.0	"		○	○		32.000	6.0(10.5)
岩黒島橋	IB2P	-15	5.0	"				○	8.000	3.5(7.5)
	IB3P	-24	5.0	"	○	○		○	34.000	5.5(18.5)
南北備讃瀬戸大橋	IB4P	-14	5.0	"	○	○		○	24.000	5.0(15.0)
	BB2P	-10	1.7	"					21.000	9.5(14.5)
	BB3P	-10	5.0	"	○	○		○	42.000	5.0(21.0)
	BB4A	-10	5.0	"	○	○		○	58.000	6.5(23.0)
	BB5P	-32	5.5	"	○	○		○	32.000	5.5(20.0)
	BB6P	-50	3.5	"	○	○		○	122.000	11.5(24.5)
	BB7A	-50	2.0	"	○	○		○	594.000	16.0(36.5)
南備讃大橋	3 P	-57	8.0	神戸層				○	162.000	12.5

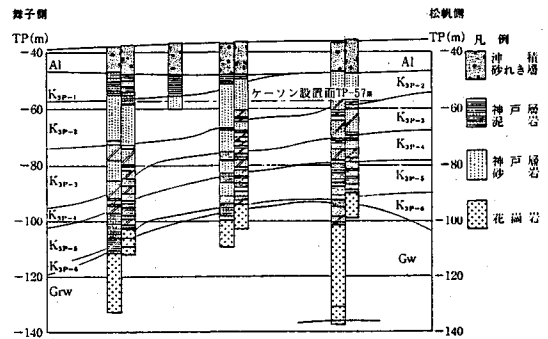
注 1.) 底面仕上げのSEPはSEPによる大口徑掘削、パイプはダイバーによるエアリフト。
 2.) 工期は海底掘削作業期間。() 内は、発破あるいは掘削開始から底面仕上げ(清掃)完了まで。



図一 2 SEPによる掘削面仕上げ



図一 3 3P主塔基礎掘削形状



図一 4 3P付近地層断面

ンを直接掘削面に設置するため、±50 cmの掘削精度が要求された。

これまでのグラブ船による岩盤掘削の施工実績では、経験的に以下のことが知られている。

- ①重量が重く容積の小さいグラブバケットが、潮流下での位置保持・掘削効率が良い。
- ②浮体からの測深は波浪等の影響で高い精度が得られにくい。
- ③また、上記測深データは掘削面に残ったズリの表面の高さであり、堆積しているズリ厚さは掘削岩質や掘削方法で異なる。

これらのことから、この大水深・急潮流下でのグラブ船での岩盤掘削を実施するにあたっては、次の点を明らかにする必要がある。

- ①大水深・急潮流下でのグラブバケットの挙動、掘削効率、及び作業限界

②同様の条件下でのケーソン据付盤の高精度仕上げ掘削方法

③超音波測深の精度

本研究はこのような背景から、既報¹⁾の③を除く2点について多数の現場実験データを基にこれまでの研究を1歩掘下げ、定量的な考察を試みた。

3. 急潮流下でのグラブバケットの挙動

急潮流下ではグラブバケットが並進移動・回転等をおこし、また海底面に傾いた状態で着底するため計画どおりの掘削は難しい。従って、これまで掘削可能な潮流速は経験的に決定されているのが実情で、グラブバケットの挙動の定量的な把握は行われていない。ここでは、実際のグラブ船を使用して潮流下のグラブバケットの挙動を測定し、その挙動の実験式を求めることで作業限界流速について検討を試みた。

(1) 実験概要

グラブバケットの挙動は、表一2に示す3隻の大型グラブ船を使用し、表一3に示す重容比(バケット重量/バケット容量)の異なるグラブバケットで、移動量・回転・つかみ効率等を測定した。図一5に32.5 m³級グラブ船で使用したグラブバケットの構造図を示す。

表—2 実験を行った大型グラブ船の仕様

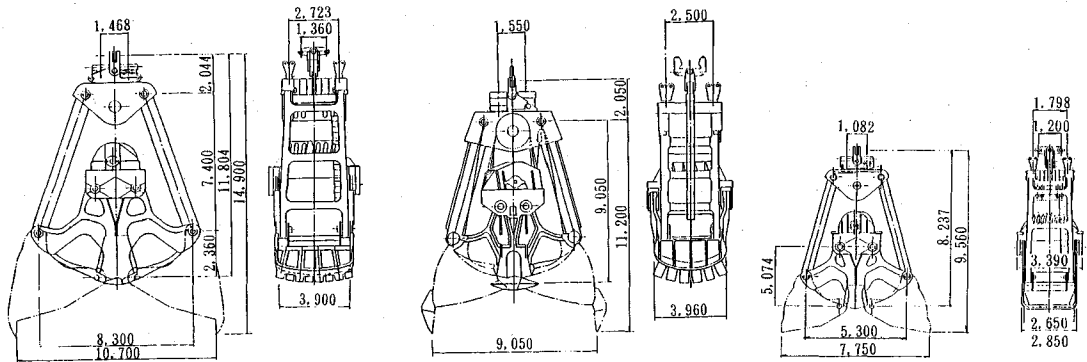
グラブ船名	建造年	船体寸法 長さ×幅×深さ×吃水 (m)	液深機			発電機 原動機		グラブバケット			係留設備	その他特徴	主要工事 名称
			巻上 荷重 (t)	作業 半径 (m)	液深 深度 (m)	主発電機	主原動機	ヘビー	ミディアム	平			
20m級	1985	50×22×3.5×2.0	100	21	70	AC445V× 250KVA 1台	2200PS× 600rpm 1台 (直結式)	8.5m ² 60t 重容比 9.4	20m ² 60t 重容比 3	6m ² 20t 重容比 3.3	ワイヤ 15/7.5t×9/18m/min 2基 ストッパ 5t 2丁 ストレス 5t 2丁 ストッパ 50φ×375m 4本	測深機装備 2基 2丁 2丁 4本	来島大橋 開門航路
25m級	1974	60×23×45×2.3	150	20.5	80	AC450V× 1700KVA 1台	3200PS× 600rpm 1台	13m ² 125t 重容比 9.6	25m ² 85t 重容比 3.4	18.0m ² 52t 重容比 2.9	ワイヤ 30/15t×8/16m/min 2基 シカ-ワイヤ 55/27.5t×6/12m/min 2基 特殊フカ 13t 4丁 ストッパ 70φ×400m 4本 シカ-ワイヤ 70φ×400m 2本	測深機装備 6点係留設備 2基	明石海峡 大橋2P下 部工 若 松大橋下 部工 来 島海峡コ ノ瀬
32.5m級	1987	68×28×5×2.6	250	25	100	3500KVA ×600rpm	5000PS× 600rpm	17.5m ² 200t 重容比 11.4	32.5m ² 150t 重容比 4.6	18.0m ² 52t 重容比 2.9	ワイヤ 50/25×8/16m/min 2基 シカ-ワイヤ 60/30×8/16m/min 2基 ストッパ 18t 4丁 ストッパ 73φ×475m 4本 シカ-ワイヤ 85φ×400m 2本	水平掘削装置 深度制御ソフト 組込 2基 測深機装備 6点係留設備	明石海峡 大橋3P下 部工 来島大橋 下部工

表—3 グラブバケット仕様

グラブ船 種類	シーブ高さ h (m)	バケット 種類	容量 (m ³)	重量 (t)	重容比
20m ³ 級	20.0	ヘビー	8.5	80	9.4
25m ³ 級	22.0	ミディアム	25.0	85	3.4
		ヘビー	13.0	125	9.6
32.5 m ³ 級	25.0	ミディアム	32.5	150	4.6
		ヘビー	17.5	200	11.4
		平	18.0	52	2.9

表—4 グラブバケット挙動測定項目

グラブ船 種類	バケット 種類	測定方法				実験場所 (水深)
		移動量・回転	つかみ効率	ワイヤ-交錯	潮流速	
20m ³ 級	ヘビー	六分儀測角	—	—	—	来島大橋5P (約30m)
25m ³ 級	ヘビー	—	目視	目視	—	明石海峡大橋2P
	ミディアム	—	—	—	—	CM-2型 (約45m)
32.5 m ³ 級	ヘビー	—	—	—	—	流時計 明石海峡大橋3P (約37m)
	ミディアム	—	目視	—	—	
	平	—	—	—	—	



ミディアムバケット (32.5m³、150t)

ヘビーバケット (17.5m³、200t)

平バケット (18.0m³、52t)

図—5 グラブバケット構造図

以下に、各項目の測定方法を示す。

a) グラブバケット移動量

グラブバケットの移動量および回転は、図—6に示すように海面上の2本の支持ワイヤーの位置をグラブ船の2点から六分儀で測定し、幾何学的に次式で推定した。

$$X = \ell \times \frac{h+d}{h} \dots\dots\dots (1)$$

X: グラブバケットの移動量

ℓ: 海面上のワイヤーの移動量

h: シーブ先端から海面までの高さ

d: 水深 (目標掘削地盤高+潮位)

また回転については海面上のワイヤー回転角をグラブバケットの回転角とした。

b) グラブバケットのつかみ効率

グラブバケットのつかみ効率 (掘んでいる土砂量/グラブバケット容量) は目視によった。

c) グラブバケット吊りワイヤーの交錯

目視によった。

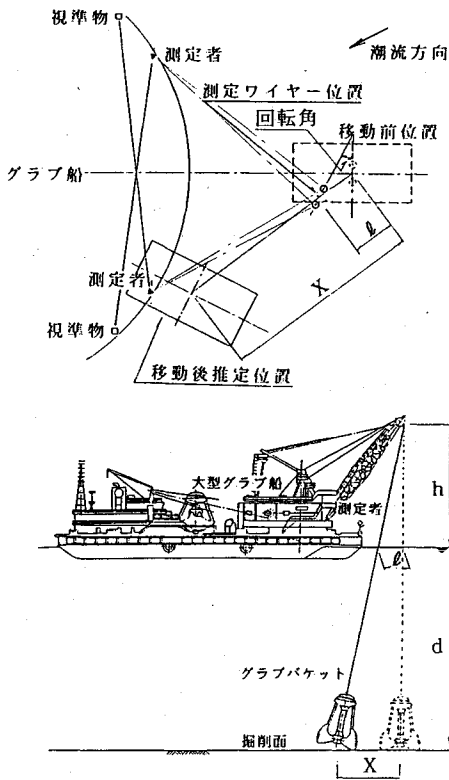


図-6 グラブバケット移動量測定方法

d) 潮流速

グラブ船に備え付けた潮流計 (CM-2 型) により、グラブ船舷側水深 5 m の流速を 10 分毎に測定した。

なお、一般に潮流速は海底面に近づくにつれ小さくなり、またその鉛直分布は海域の海底地形により異なるものと考えられるが、得られているデータは図-7 に示す明石海峡 3P 地点でのデータ³⁾のみであり、4 kt 未満では低減率が小さいため、今回は水深 5 m での潮流速を採用している。

(2) 実験結果

a) グラブバケットの移動量

図-8 に各グラブバケット変位と潮流速の測定結果を示す。

往復流のデータがあるもののうち、32.5 m³ 級ヘビーバケットを除いて、グラブ船前面から潮流を受ける場合の移動量が多い。これは、後面からの潮流はグラブ船及び土運船の影となり表面付近の流れが乱されるため、グラブバケット着水時の初期移動量が少ないものと考えられる。

また、同じ潮流速の時の移動量は同一条件に換算した結果を後述するが、傾向として 25 m³ 級、及び 32.5 m³ 級の測定値をみると、比重の大きいものが流れにくい傾向にあり、特に平バケットは潮流速が遅い場合にも

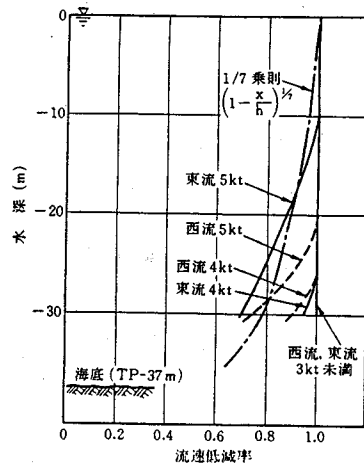


図-7 3P 付近の鉛直方向流速分布

移動量が大きく流れやすい。

b) グラブバケットの回転

潮流速とグラブバケットの回転については、25 m³ 級グラブ船のヘビーバケットで潮流が大きくなると回転角が増す傾向はみられ、また、潮流流向とシーブ方向の角度 (潮流の流れる方向とシーブの向きが同じ場合 0 度) が大きくなると回転しやすい傾向はあるが、はっきりした関係のデータは得られなかった。これは、回転角を水面上のワイヤー位置から推定していること、着水時のタイミングで潮流が小さい時でもグラブバケットが回転してしまう場合があること等によるものと考えられる。

c) グラブバケットのつかみ効率

つかみ効率も潮流速との定量的なデータは得られなかったが、図-9 に示すように、測定を行った 25 m³ 級グラブ船ヘビーバケットでは東流・西流とも 4 kt を越えればつかみ効率は悪くなり、32.5 m³ 級グラブ船ミディアムバケットでも東流 4 kt、西流 3 kt で極端に落ちた。また、グラブバケットの回転との相関は無かった。

d) グラブバケット吊りワイヤーの交錯

掘削中のグラブバケット巻き上げ時 (ワイヤーに大きな負荷がかかっている時) の吊りワイヤーの交錯は、測定を行った各グラブバケットとも、概ね潮流速が 2.0 kt を越えると発生する場合があります。4.0~4.5 kt 付近からは急激にグラブバケットは不安定になり頻りに生じるようになる。

(3) 実験結果のまとめ、及び考察

以上の実験結果から、ここではグラブバケットの移動量データから抗力係数を算定し、一般的なグラブバケットの挙動を把握するとともに、その他のデータを含めた定量的な掘削作業限界を検討する。

a) グラブバケットの抗力係数

図-8 に示した潮流速とバケット移動量の関係は、実

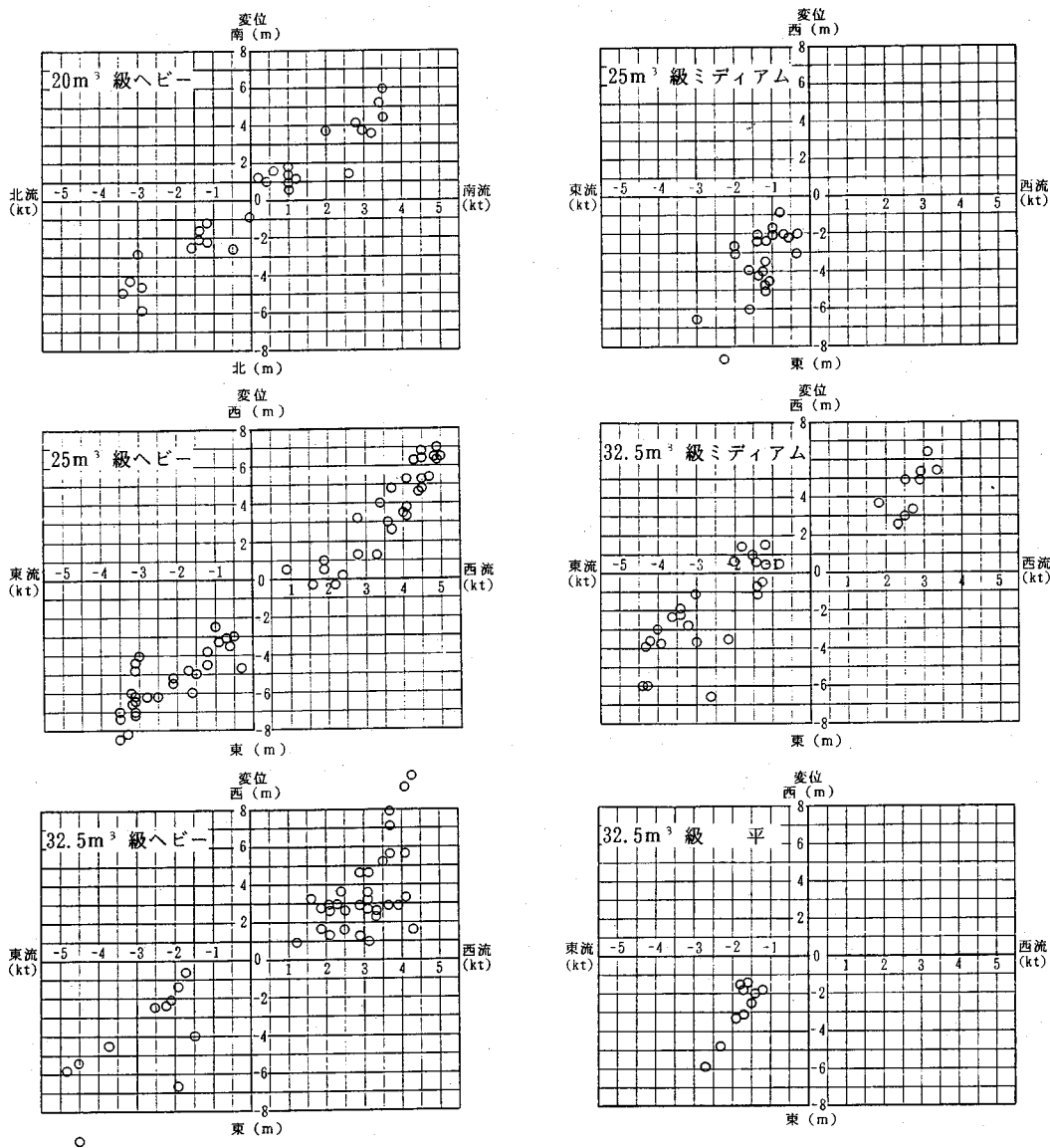


図-8 潮流速とグラブバケット移動量

験条件が異なる（掘削水深及びシーブ高さが異なる）ため、こまでは比較できない。従って、同じ条件での移動量の比較を行うため、同一水深・シーブ高さに換算して回帰式を求めた。

さらに、グラブバケットの潮流による移動量は、図-10に示すように、グラブバケットの受ける潮流力と自重（水中重量）との釣り合いで決まることから、次式により換算抗力係数を求めた。

$$X = \frac{F_D}{W} \times (d+h) \dots\dots\dots (2)$$

$$Z = \frac{F_D}{W} \times B \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

X : グラブバケットの水平変位 (m)

Z : グラブバケットの鉛直変位 (m)

F_D : 潮流力 (抗力)(tf)

h : 水面からシーブまでの高さ (m)

d : 水深 (m)

B : グラブバケットの開口幅 (m)

W : グラブバケット水中重量 (tf)

$$F_D = C_D \times W_0 \times A \times V^2 / 2g \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

F_D : 潮流力 (抗力) (tf)

C_D : 抗力係数

W_0 : 海水の単位体積重量 = 1.025 (tf/m³)

A : グラブバケット投影面積 (m²)

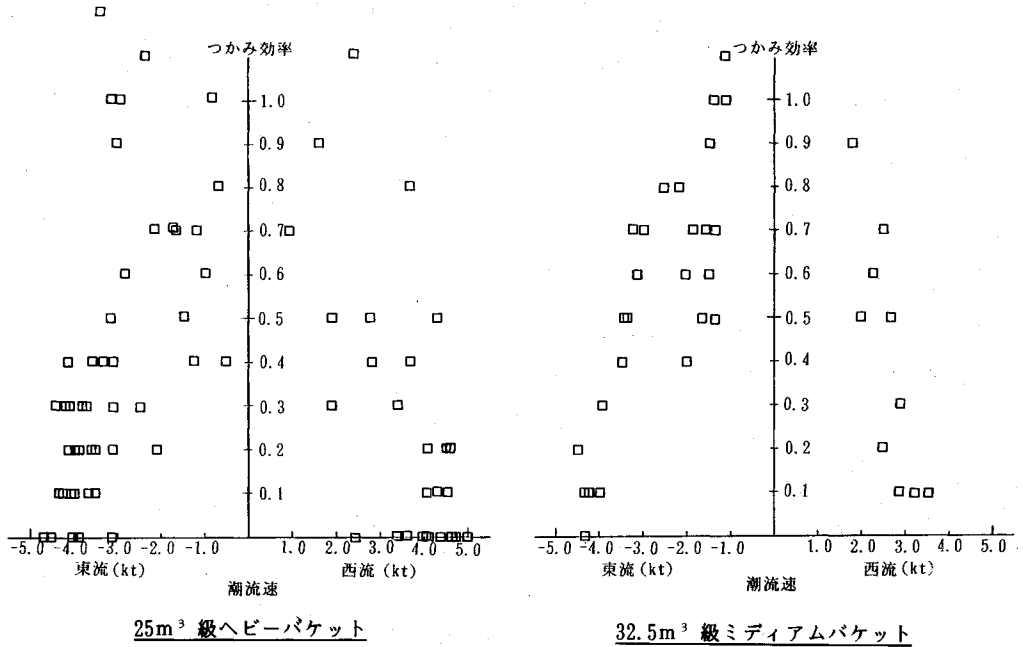


図-9 潮流速とつかみ効率

表-5 グラブバケットの抗力係数

グラブ船種類	グラブバケット種類	投影面積 A (m ²)	水中重量 W (t)	重容比	換算回帰式 (水深50m、シープ高さ25m)	抗力係数 C _D
20m ³ 級	ヘビー	26	70.0	9.4	(南流) $X = 0.48V^2 + 1.53$	1.24
					(北流) $X = 0.48V^2 + 2.38$	1.24
25m ³ 級	ヘビー	31	108.6	9.6	(西流) $X = 0.34V^2 - 0.73$	1.14
					(東流) $X = 0.32V^2 + 4.10$	1.08
	ミディアム	39	74.4	3.4	(西流)	
					(東流) $X = 0.65V^2 + 2.65$	1.19
32.5m ³ 級	ヘビー	45	175.0	11.4	(西流) $X = 0.36V^2 + 0.92$	1.34
					(東流) $X = 0.40V^2 + 1.82$	1.49
	ミディアム	54	131.3	4.6	(西流) $X = 0.49V^2 + 1.71$	1.14
					(東流) $X = 0.41V^2 - 1.65$	0.96
	平	24	43.8	2.9	(西流)	
					(東流) $X = 0.79V^2 + 0.38$	1.38

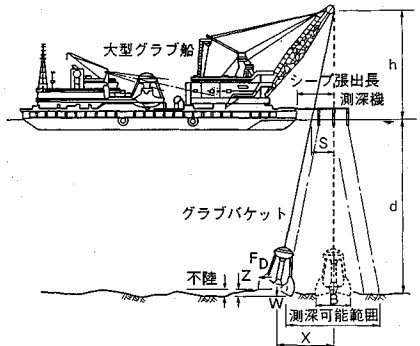


図-11 グラブバケットの移動から決る作業限界

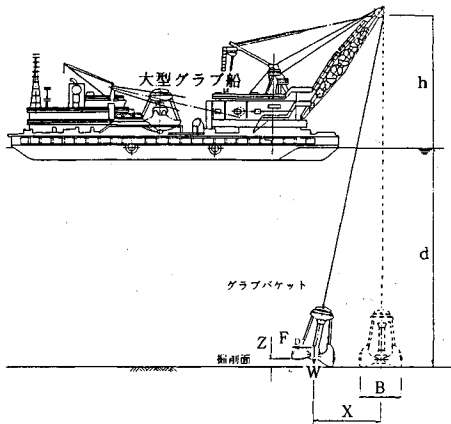


図-10 グラブバケット移動時の釣り合い

V: 潮流速 (m/sec.)

g: 重力加速度 (m/sec.²)

算定結果を表-5に示す。

なお、式(2)および式(4)から回帰式を求めた場合、グラブバケットの水平変位 X は $X = aV^2$ (a は定数) となるが、今回は弱潮流時よりも掘削作業限界と想定される潮流速 3~4 kt の変位に注目したため、図-8 のデータから実験式として $X = aV^2 + b$ (a, b は定数) の回帰式で C_D を算定した。

この結果から、形状が複雑なグラブバケットの抗力係数は強潮流時には概ね C_D = 1.2 として良いものと考えられる。

b) 作業限界流速

従って、この抗力係数から算定できるグラブバケット

表-6 実験掘削測深結果

	粗掘削	仕上げ掘削A	仕上げ掘削B	さらえ掘削	
				仕上げ掘削A部	仕上げ掘削B部
設定深度	TP-51.0m	TP-52.0m	TP-52.0m	—	—
掘削深度範囲	TP-49.8~52.2m	TP-50.0~52.6m	TP-51.4~52.4m	TP-50.6~53.4m	TP-51.8~53.4m
平均値	TP-51.00m	TP-51.67m	TP-51.85m	TP-52.27m	TP-52.37m
標準偏差	0.54m	0.45m	0.24m	0.45m	0.35m

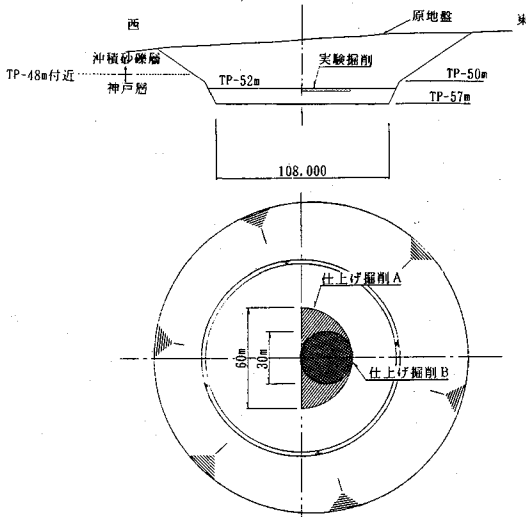


図-12 実験掘削範囲

の移動量から、図-11に示すようにグラブバケットの移動にたいしての作業限界は以下の制限で決定できる。

グラブバケットの水平移動量 $X < \text{測深可能範囲}$

グラブバケットの鉛直移動量 $Z < \text{許容不陸高さ}$

水面上ワイヤー移動量 $S < \text{シーブ張出長}$

ただし、実施の作業限界を決定する場合は、グラブバケットの移動量だけでなく今回の一連の実験から得られたつかみ効率、ワイヤーの交錯潮流速等を加味する必要がある。

(4) 研究の実施例

以上の実験結果から、32.5 m³ 級グラブ船を使用した明石海峡大橋 3P での海底掘削の作業限界潮流速を以下のように想定し掘削を行った。

なお、グラブ船は東向きに係留した。

a) 沖積砂礫層掘削

沖積砂礫層の掘削はミディウムバケット (32.5 m³, 150 t) を使用し、移動量及びつかみ効率から作業限界潮流速を 3.5 kt とした。実施工では、着水時のグラブバケットの移動のため、西流 3.0 kt, 東流 3.8 kt で掘削を行った。

b) 神戸層粗掘削

神戸層の粗掘削はヘビーバケット (17.5 m³, 200 t) を使用し、移動量・つかみ効率、及びワイヤー交錯状況

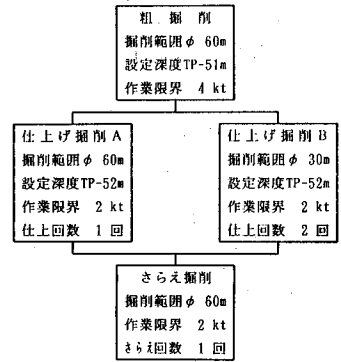


図-13 実験掘削方法

から作業限界潮流速を 4.25 kt とした。実施工では、ミディウムバケットと同様の理由から、西流 4.0 kt, 東流 4.5 kt で掘削を行った。

c) 神戸層仕上げ掘削

神戸層の仕上げ掘削もヘビーバケットを使用し、高精度の水平掘削を行うため作業限界潮流速を 2.0 kt とし、実施工でも 2.0 kt 以下の時間帯に掘削を行った。

d) さらえ掘削

さらえ掘削は最も流れやすい平バケット (18.0 m³, 52 t) を使用するため、作業限界潮流速を 2.0 kt とした。実施工でも、2.0 kt を越えると移動量が大きくなり、掘削を中断した。

以上のように、今回の実験から得られた結果により、各掘削作業の作業限界潮流速を決定、実施工を行ったが、計画段階で想定した作業限界潮流速が妥当であったことがわかった。

4. 急潮流下での高精度岩盤掘削方法

ここでは、ケーソン掘付盤を高精度に仕上げるために、粗掘削完了後の仕上げ掘削方法を以下の点に着目して検討した。

①仕上げ掘削を何回行えばよいか。

②仕上げ掘削完了時のズリ厚さはどの程度か。

③設計掘削深度に対して仕上げ掘削の施工深度をどこに設定するか。

(1) 実験概要

32.5 m³ 級グラブ船のヘビーバケット、及び平バケットを使用し、図-12に示す明石海峡大橋 3P 地点の水深 51~52 m 付近で実験を行った。

掘削方法は、図-13に示すように作業限界流速と仕上げ回数を変えた 2 ケースを実施した。

測深は、各掘削完了後グラブ船装備の PDR-201 型超音波測深機を使用し、指向角は 2.5° で行った。

(2) 実験結果、及び考察

表-6に測深結果を、図-14に同じデータを掘削レベ

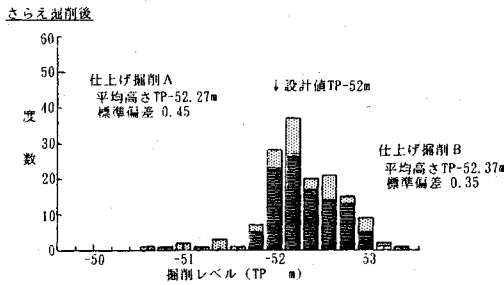
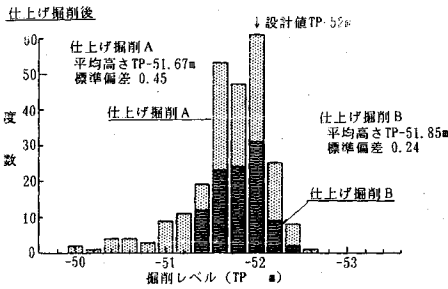
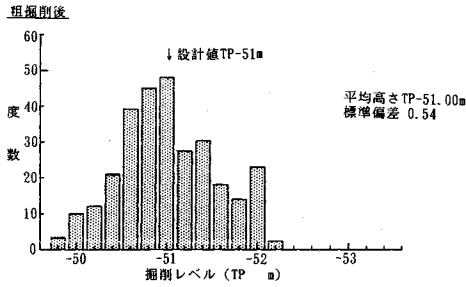


図-14 測深結果頻度分布

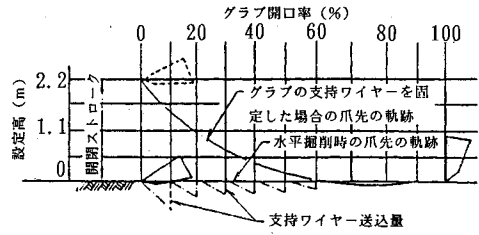


図-15 水平掘削要領

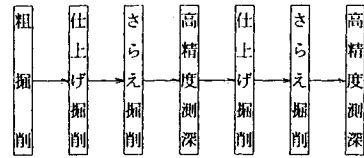


図-16 仕上げ掘削方法

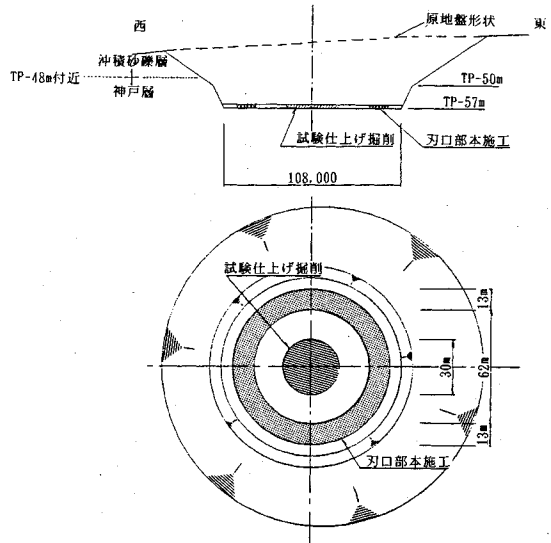


図-17 仕上げ掘削範囲

ル頻度分布として示す。

a) 粗掘削

粗掘削は当然のことながら仕上げ掘削に比べ掘削深度のばらつきは大きく、設定深度 TP-51 m に対し浅い所は TP-49.8 m、深い所は TP-52.2 m となっている。

設定深度より浅くなっている原因としては、

- ① グラブバケットの爪は所定位置に入っているが、掘削ズリが残っており測深結果として浅くなっている。
- ② 掘削面が固く、掘り下げられない。
- ③ 潮流が速くなるとグラブバケットが流され、爪先が ±25 cm 程度傾くため浅くなる。

等が考えられる。

また、設定深度より深くなっている原因としては、

- ① グラブバケットの爪が掛かって岩が起きた時に設定深度を侵した。
- ② 掘削能率 (つかみ効率) が悪い場合、グラブバケットの重量を預けて掘削しており、その時に爪が深く入った。

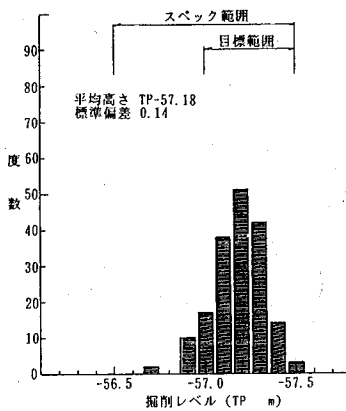
等が考えられる。

粗掘削の段階で多少浅い部分については仕上げ掘削で対応可能であるが、今回の実験では粗掘削段階で TP-52 m 以深が生じており、また後述するが、さらえ掘削後の測深では一部 TP-53.4 m と粗掘削の設定深度より 2.4 m も下がっている部分があり、粗掘削段階でできるだけケーソン掘付盤を侵さないためには、掘削精度 ±50 cm を考慮すると仕上げ掘削の層厚を 2.0 m 程度、つまり粗掘削の設定深度をケーソン設置面の 2.0 m 程度上とする必要がある。

b) 仕上げ掘削

仕上げ掘削は、図-15 に示すようにバケットの閉合時に開口率に応じて支持ワイヤーを所定量ずつ送り込みバケット位置を徐々に下げ、刃先が規定された深度以下に入らないように水平掘削を行っており⁴⁾、粗掘削に比

試験仕上げ後



刃口仕上げ後

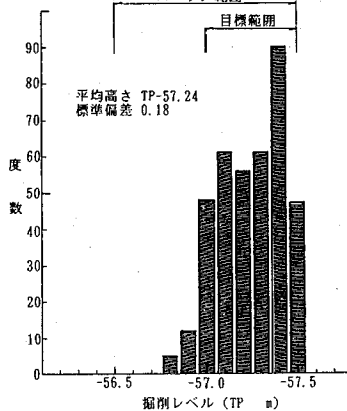


図-18 仕上げ掘削測深結果

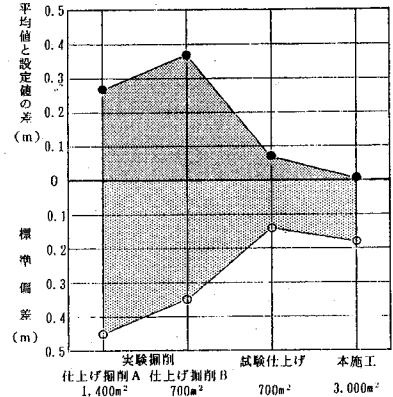


図-19 仕上げ掘削精度の推移

べ掘削深度のばらつきは少ない。

仕上げ掘削 A と B を比較すると、2 回掘削を行った B の方がばらつきは小さく、目標とした±50 cm の精度を満足している。

c) さらに掘削

さらに掘削完了後の測深結果によれば、仕上げ掘削完了時より平均 0.5~0.7 m 深くなっており、最も深いところでは TP-53.4 m まで下がっている。さらえ用の平バケットでは神戸層砂岩を掘り下げる能力は無いため、今回の実験結果から以下のことが言える。

- ①仕上げ掘削完了時にはかなりのズリが残っている。
- ②さらに掘削以前に設定深度 (TP-52 m) 以下に爪が入っている。

ズリの厚さは、さらに掘削前後の測深データから 0.3~0.9 m 程度で、最大 1.4 m、平均 0.6 m 程度となっている。このことは、仕上げ掘削の施工管理で設定深度まで下げると掘り過ぎの状態となることを示している。

また、仕上げ掘削時には爪が設定深度以深に入らない掘削方法をとっており、仕上げ掘削 B では潮流速 2 kt 以下で掘削しているため、グラブバケットの傾きにより爪が入り過ぎる可能性は少ない。仕上げ掘削段階で掘り過ぎとなる要因としては、粗掘削時の地盤の不陸によりグラブバケットが傾き、爪が入り過ぎることは考えられる。

以上のことから、神戸層のような岩盤を高精度で仕上げするためには、

- ①仕上げ掘削段階での施工管理では設定深度まで下げないこと、つまり測深結果が+50 cm でも良いとする。
- ②ズリ厚さが 0.3~0.9 m とばらつきがあるため、仕上げ段階で、図-16 に示すように仕上げ掘削とさらえ掘削を 2 回以上繰り返す。

③前述したが、仕上げ掘削の層厚を 2 m 程度とし、粗掘削においてもできるだけ不陸を少なくすることが必要である。

(3) 研究の実施例

以上の実験から得られた仕上げ掘削方法を、明石海峡大橋 3 P 主塔基礎ケーソン据付盤の仕上げ掘削で実施した。実施掘削方法は、

- ①粗掘削の最終段階では不陸をできるだけ少なくするため目標高さに合わせ丁寧に掘削。
 - ②仕上げ掘削厚さは 2 m、1 m×2 回で掘削。
 - ③最終設定高さで仕上げ~さらえ掘削を繰り返す。
- とした。

最終仕上げ設定深さは、掘削面は不陸を考慮して TP-57.25 m とし、図-17 に示すように掘削範囲の中心φ30 m の範囲で仕上げ~さらえ掘削を 2 回繰り返す試験掘削を行い、施工方法の妥当性を確認した後、最も精度が要求されるケーソン着底部 (φ70~φ83 m) の仕上げ掘削を行った。ケーソン着底部の仕上げ掘削では仕上げ~さらえ掘削を 3 回繰り返し、鋼ケーソン設置の 3 日前まで掘削を行った。

図-18 に試験掘削、及びケーソン着底部の測深結果を、図-19 に実験から実施工の仕上げ精度の推移を示す。この結果、着底部のデータが特異な分布となっているが、これは 3 回目の仕上げで高い部分を集中的に取り除く掘削を行ったためであり、試験掘削とも実施工では TP-57.5 m 以深のデータは無く、大部分が目標範囲 TP-57.25±0.25 m というスペックを上回る高い精度で仕上がっている。

また、ケーソンの設置状況も十分満足のいくものであった⁵⁾ことは、この掘削方法がグラブバケットのみでの高精度岩盤掘削方法として妥当であったことを証明しているものと考えられる。

5. おわりに

このように、本研究で得られた定量的な作業限界，高精度の岩盤仕上げ掘削方法により，明石海峡大橋 3P の海底掘削は，これまでになく大水深・急潮流下での施工にもかかわらず，短時間で高精度の成果を得た。しかし，このような海底掘削という特殊な工事の実施工に直接結びつく報告は少なく，今後も同じような工事でのデータを蓄積する必要があるものと思われる。

今回とりまとめたものが，今後同様のあるいはより条件の厳しい海底掘削の施工に参考となれば筆者らの望外の喜びである。

最後に，工事を通して御指導頂いた本州四国連絡橋公団の方々，ならびに現場実験に御協力頂いた工事関係者各位に対して，厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 後藤英一・中川良隆・中林 進：大型グラブ船による橋梁基礎の岩盤掘削の変遷，土木学会論文集，第 427 号／VI-14，pp. 307～316，1991 年 3 月。
- 2) 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋 瀬戸大橋工事誌，1988 年。
- 3) 青木俊彦・百崎和博・鈴木明人・中川良隆・守屋重孝：大水深・急潮流下における大型海上作業足場の挙動について (1)，大成建設技術研究所報，第 20 号，pp. 41～44，1987 年 12 月。
- 4) 鈴木幹啓・坂巻明人：大型グラブ浚渫船による明石海峡大橋橋脚基礎の海底掘削，建設の機械化，1989 年 2 月。
- 5) 鈴木幹啓・高塚正修・坂巻明人・岩淵伸一郎：大型グラブ浚渫船による明石海峡大橋橋脚基礎の海底掘削 (その 2)，建設の機械化，1990 年 1 月。

(1992. 6. 18 受付)

STUDY ON THE HIGH ACCURACY AND THE RAPID WORK OF ROCK EXCAVATION USING LARGE SCALE GRAB DREDGER UNDER GREAT DEPTH AND IN FAST CURRENT

Eiichi GOTOH, Yoshitaka NAKAGAWA, Yasuo KIDOKORO and Motohiro SUZUKI

For the underwater bedrock excavation of large bridge piers, divers or the rotary shaping machine mounted on the SEP has been carried out to achieve the high accuracy. In case of excavation for the 3 P pier of the Akashi Kaikyo Bridge, high accuracy and rapid work, was required under the severe marine conditions of great depth of water and fast tidal current, using only a large scale grab dredger.

This study intends to realization of the high accuracy and rapid work of the underwater bedrock excavation and the result of this study was proved at the 3 P pier of the Akashi Kaikyo Bridge.