

半潜水型船足場を用いた明石海峡での海底ボーリング

本州四国連絡橋公団 金水工事事務所 岡田 哲夫

1. まえがき

明石海峡大橋の計画については昭和42年、建設、運輸両省により発表された垂水と岩屋港を結ぶ東案が考えられていた。これは中央に1500m級の吊橋をおき、その両側に600m級の吊橋を配し、3径間吊橋3連で海峡を渡る案であった。その後の詳細な調査で海底地形が急峻で大転石が多かり、1500mスパンが一応吊橋の実用限界とされていた吊橋の耐風安定性が1800m級まで伸びせる可能性が見出されたことからルートが再検討され、47年11月に東案より約1km西にふる案が採択された。

西ルートはセンタースパン1780mの吊橋-連と150m程度のアプローチスパン数連で中約4.3kmの明石海峡を渡るもので昭和48年、49年で橋脚ピアンカレッジ基礎の予定位置のボーリングを実施している。

現在わが国で建造されている大型SEFは表-1のようで橋脚予定位置の水深40~50m、潮流最強8ノットに耐えられるものがないため、このような条件に耐えられる地質調査用足場として半潜水式の大形船足場「創成2号」を建造し、48年5月から明石海峡にすえてボーリングを実施中であるのでその概要について述べる。

ボーリング計画は表-2に示す通りである。

2. 創成2号の概要

(1) 型式及び主要寸法

型式：四脚半潜水型

係留方式：浮力拘束型(アンカー8基、沈鍾4基)

甲板寸法：43.0m×43.0m

全高さ：14.7m

コラム中心間距離：31m

フラム：径4.5m×高さ8m

フーティング：径12.0m×高さ4.5m

自航時吃水：約4.2m

作業時吃水：8~10m

総重量：約2000t

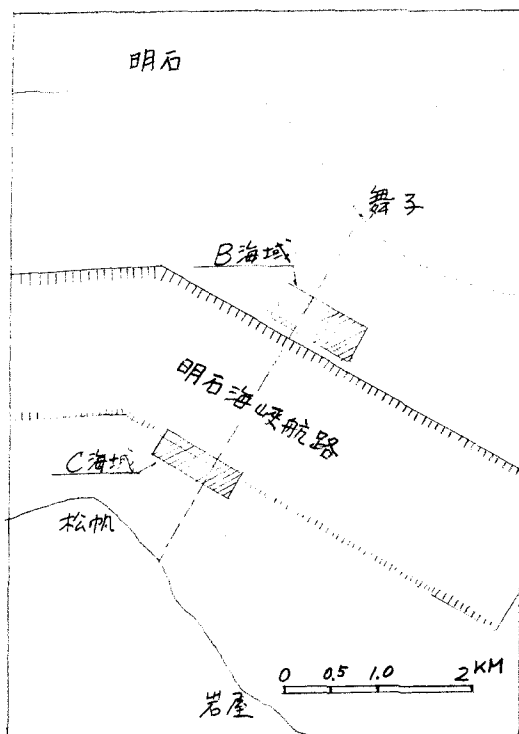


図-1 調査位置図

項目 名称	水深 (m)	風速 (m/sec)	波高 (m)	潮流 (ノット)	重量 (t)
たまの	50	30	2.5	2	3500
かじま	35 50	40	2.5	7 4	4050
盤石	50	20	1.5	3	3600
創成2号	55 60	20 60	2.0 7.0	8	2000

表-1 主要足場設計条件比較

海域	規制水域 (m)	水深 (m)	振盪予定 深度(m)	ボーリング 本数	工期
B	400 ×1000	45~50	70~220	11本	48年4月 ~49年3月
C	300 ×1000	40~45	100	6本	49年4月 ~49年12月

表-2 創成2号によるボーリング計画と実績

(2) 主要搭載機器

主発電機：88 Ps 1台

アンカーウインドラス：

φ95mmチェーン用8台

アンカーチェーン係留

ストッパー：300t 8台

現鐘チェーン係留ストッ

パー：75t 4台

バラスト制御装置：一式

20tクローラークレーン

：1台

掘削機・ホーリング機械

：一式

居住ハウス：1棟

(3) 設計条件

	作業時	台風時	長期荷重
波高 (m)	2.0	7.0	5.5
波長 (m)	60	100	100
風速 (m/s)	20	60	40
潮流 (ノット)	8	8	8

最大水深 55m

(4) 一般配置及び構造強度

甲板は角型で、12mピッチで9カ所にホーリングウェルがある。ウェルの径は、中央部が2.4m、他は1.9mである。

甲板四隅に係留用たるばね現鐘チェーン操作用のウインドラスがあり、コントロール室からの指令により、ウインドラス機側の操作盤で操作を行う。係留チェーンは8条ありチェーンストッパーはコラム外方でウインドラス直下の甲板に垂下している。甲板Fは対角線方向に巾5m、高さ2.7mのボックスガーター式水密構造室があり、機械室および倉庫に区画されている。これらの水密構造室は非常の場合の予備浮力として、船足場の安定に役立つ。

四隅のコラムは水密構造であり、内部はチェーンの格納場所と甲板からフーディングへの垂直通路とに区画される。フーディング内は、それぞれ水密隔壁で4分割され、1区画がポンプ室、2区画がバラストタンク、残り1区画は空所となっている。また、フーディング外方に水密タンク型のフェンダーが配置されている。

使用鋼材はSS41、STK41であり一部の管材はSM50Aである。すべて溶接構造で、甲板は2t/m²の垂直荷重に耐えられる。また船足場の全体強度は前述の設計条件に耐えられるようになっている。

3. 創成2号の係留方式
創成2号の係留方式は、普通係留、拘束係留、荒天係留の三種類にわけられる。

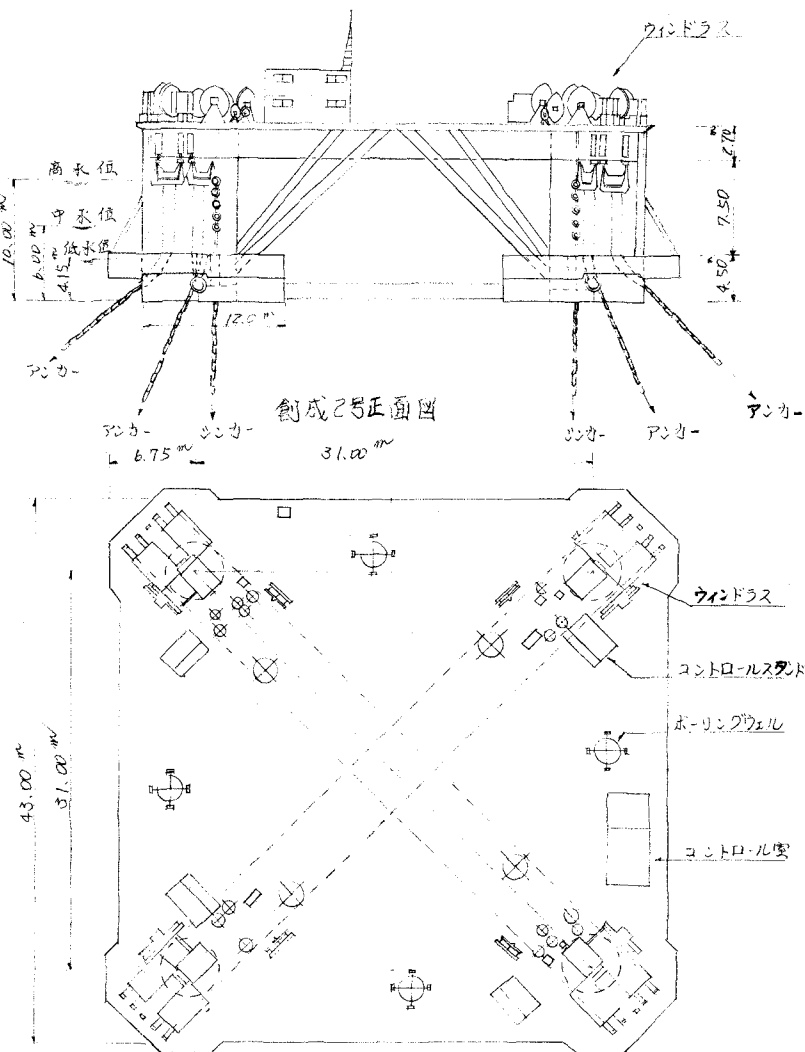


図-2 創成2号平面図

(1) 普通係留

単に係留しておく場合で、一般の船舶と同様に、チェーンを使用すると至はあまり張力を与えず、ワイヤーを使用すると至は、甲板上のボードに係止する。

(2) 拘束係留

海上ボーリングを行なう時は、足場の動揺を極力おさえる必要があり、この方法で係留する。

手順は図-3に示すとおりであり、作業は潮流速3ノット以下の海象状況のよい時に実施する。

多数のボーリングを行なう場合、アンカー位置を変えずに、係留チェーンを伸長させて足場のみに小移動させ、ある範囲の海域で作業する方が能率的であるが、海象、気象条件が厳しい場合はなるべく左右対称にすべきである。

(3) 荒天係留

台風時に拘束係留のまま、足場を放置すると、チェーンに過大な力がかかり、危険なものでござのような対策をとる。

- 浮力の拘束は行なわない。
- 係留チェーンは十分ゆるめ、水深の2.5倍以上のチェーン長とする。
- 甲板上の大型機材はあらかじめ陸揚げし、他の物品は動揺で移動せぬよう、十分固縛する。
- 沈鐘チェーンを極力ゆるめる。
- 乗組員は上記の処置を行なった後退避する。

4. 48年度ボーリング実施状況

(1) 創成2号を明石海峡に曳航設置したのは5月20日で、拘束係留、ケーシング運込などの準備を終えて6月18日、3本のボーリング孔による第1回のボーリングを開始した。

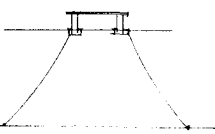
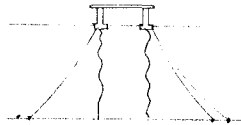
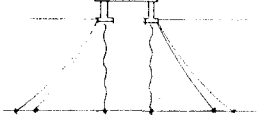
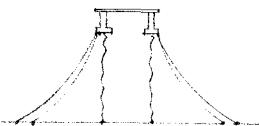
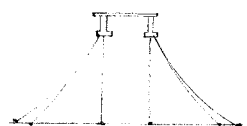
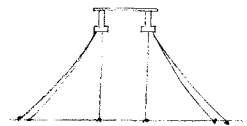
ボーリング至は100mmで全試料を採取し、プレシオメーター、L.L.T.による孔内載荷試験と物理検査を実施している。

ボーリングを円滑に実施するためには足場を極力水平に保ち、足場高さを海底面から一定

距離に保ち、又水平移動を極力小さく抑えることであり、バラスト水および沈鐘チェーンの操作には相方の熟練が必要である。ボーリング初期には操作不馴れにより300tアンカーが滑り、約4.5m足場が移動し、ボーリング用φ300mm、100mmケーシングの折損欠陥が生じている。

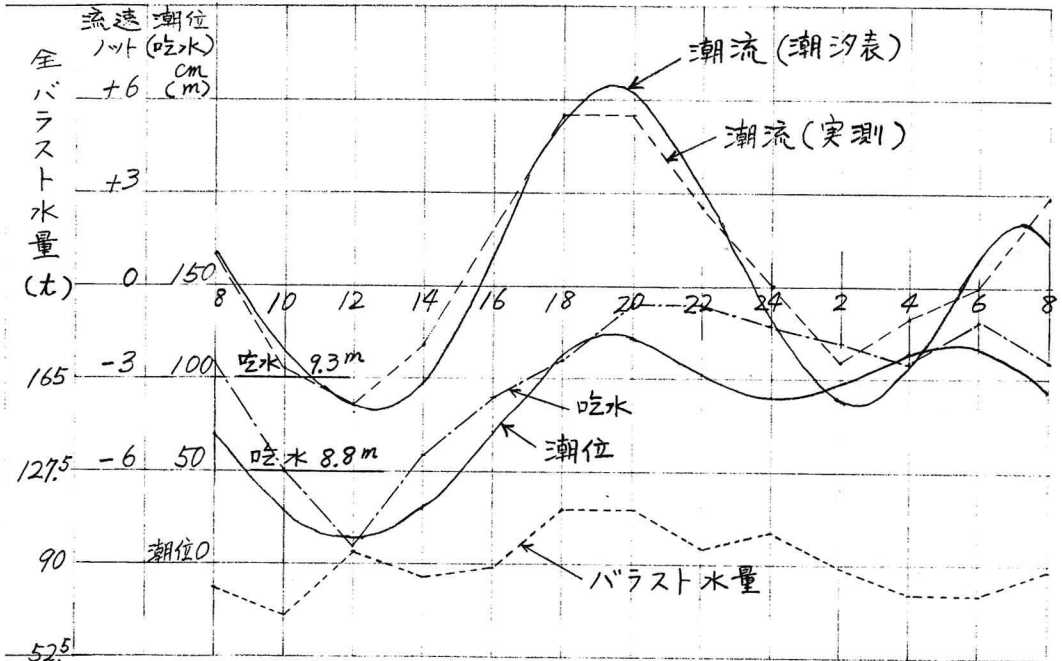
図-4に比較的熟練し、良好な足場管理がなされた日の足場管理グラフを示す。図において吃水と潮位の差が一定ならば足場が海底から一定距離に保たれていたことになる。この図では潮位約110cmの変化に対し足場は約

図-3 拘束係留の手順

手順	略 図	説 明
1		曳船に必ずし 作業現地着
2		係留チェーン4条で仮係留 所定の作業位置であ ることを確認。
3		沈鐘を海底にあづける。 対角線の2個を 同時操作。
4		係留チェーンの条全部 をゆるめ
5		各脚2個のバラストタ ンクに注水し、フーティ ングの船舷5cmに達し たとき停止する。
6		沈鐘チェーンおよび係留チ ェーンを張り所定の吃水 まで船足場を沈める。 (何れもウインドラス使用) その後チェーン荷重をチェ ーンストッパーの油圧 シリンダに移す。
7		バラストを排油し、所定 の拘束力を与える。 各チェーンの負担荷重 の偏差の大きいところ 油圧シリンダで微調 整する。

25cmの鉛直方向の浮沈をしている。この他、波による足場のローリングによる上下動があり、ボーリング位置で1.5m以上上下動があるとボーリングが不可能になる。

図-4 足場管理 グラフ (7月28日8時~29日8時)



(2) 沈鍾チェーンの切断

第2回目のボーリング位置に足場を移動し、諸準備を実施している段階で沈鍾チェーンが切断した。切断位置は図-5に示すようにスタッド圧着部で破面は疲労現象を呈している。使用チェーンはφ54mm 4種100キロ鋼で破断強度324tであるが、100t程度の繰返し荷重約20万回で切断に至ったものと推定された。

このためチェーンに与える衝撃的繰返し荷重を小さくするため、たこの足の様なチェーンの房(重量28t)にとりかえ第2回目のボーリングを実施した。

沈鍾(重量85t)の代りにたこ足チェーンによる足場管理のグラフを図-6に示す。

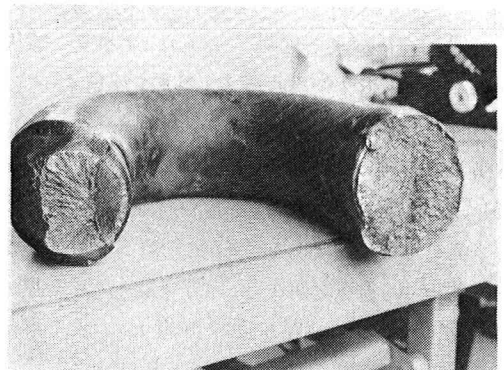


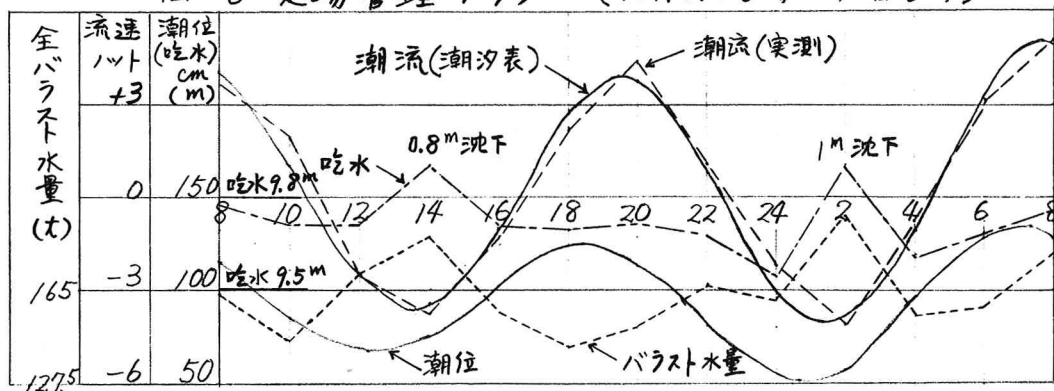
図-5 破断したφ54mm 4種チェーン

足場の水平度を維持するためにバラスト水の注、排水量が大きくなり、足場の沈みが大きい。ボーリング作業の午待ちが多くなってきた。

このためフーチング底面の揚力を利用するため、足場と一体的に潮流方向に合わせ傾斜させ(1.5°)潮流方向への足場の突込みをさせる水上スキー方式(揚力方式)に切り替えた。

これにより、バラスト水の注、排水量を少なくしても足場の水平度を一定に保つことが容易になり、足場の上下動を小さく抑えることが出来るようになった。しかし沈鍾がなくなったため波浪によるローリングは大きくなり、波高50~70cmで2°~3°のローリングによる傾斜が生じるようになった。11月2日2回目ボーリング終了。

図-6 足場管理 グラフ (10月11日8時～12日8時)



(3) 係留4エーンの切断

第3回目のボーリング開始後4日目、11月27日 係留4エーン (φ95^{mm}, 100^{kg}鋼) が切断し足場が約12°傾いた。

切断4エーン及び破面の状況は図-7、図-8に示すとおりで現錐4エーンと同様に疲労破断と推定された。

係留4エーンは破断強度95^tであるが150^t～200^t程度の繰返し荷重を数十万回以上破断したものと推定された。鉛直方向のバランスウェイドがたこ足4エーンとなったため、波浪による動揺によって起る衝撃的繰返し荷重を係留4エーンの鉛直分力で負担する度合いが高まり、係留4エーンの破断に至ったものと推定された。

(4) 50^t現錐の採用

このため応急処置として係留4エーンのうち疲労度の大きいと思われる部分を新しいスペア4エーンと交換し、又現錐も初期の85^tより軽い50^t現錐とし、水中部分となる現錐4エーンをφ54^{mm}とジョイントしてφ95^{mm}に取替えた。又各4エーンの間隔力の均等化をはかるため係留4エーンアンカーを打ち替え左右対称となるようにした。アンカー配置を改善したため、足場の安定も良くなり操船の熟練とともに、季節風のきびしい冬期のボーリングも2月末に完了した。

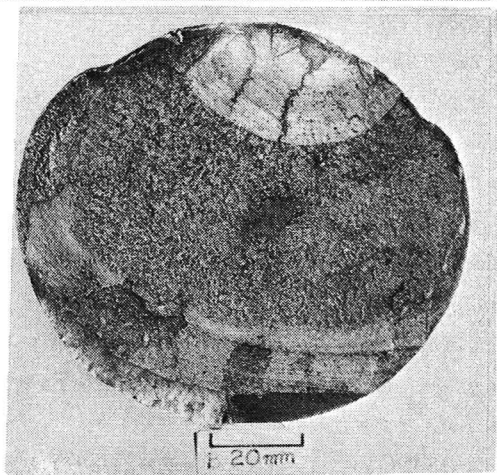
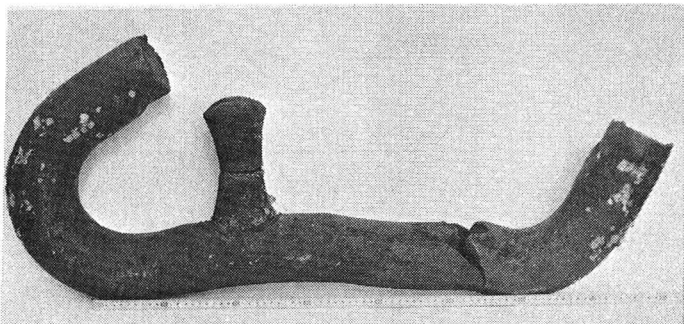


図-7、図-8 切断した係留4エーンとその破断面

5. 4エーン切断原因の考察

4エーン切断原因を追求するため順次つぎのような研究を行った。

a) 文献調査および机上計算による検討

ウ テストピースによる疲労破壊試験

c) 隣接4エーンの検査、静的破断試験、模擬破断試験

d) 破断面の電子顕微鏡による追跡

e) 4エーンの応力測定(部分的、小規模)

以上の検討により現時点でどのように原因が推測される。

(1) 大気中の鋼材の疲労限はその材料の引張強度の40~50%で強度が大きいものほど疲労強度が高い。しかし海水中の腐食疲労強度は鋼材の強度が高くなっても、ほとんど増大せず、200万回附近で疲労限は得られず更に疲労強度は低下していく。(高強度の4エーンを採用したのは特殊投錨艇による300tアンカー投設の際の安全度を確保するために必要であった。)

(2) 破断位置はいずれもスタッド圧着部で静的破断試験では通常破断しない位置である。スタッドはリングと溶接でつながるもの、突起を食い込ませて圧着するものと2つの製法があるが突起を食い込ませたものは応力集中が大きくなり疲労クラックが発生しやすいと考えられる。

(3) 突起を食い込ませてはいものはフラッシュバット溶接部で破断しており、溶接部に生じる硬化皮(スケール)をばさんだものは疲労に弱くなる。又この製法ではスタッドとリングの接触面に空けがきでまやすく、低い外力の場合にはスタッドが有効に効かず、低い外力で繰返し数の大きい条件ではスタッドの接触面に疲労現象が生じやすい。

(4) スタッドの接触部は酸素の供給が不十分となり、局部腐食電池の発生により通常の海水中よりもより悪い腐食環境となる可能性がある。

(5) 4エーンにかけた外力の大きさと回数は、大規模で十分な応力測定を実施することが非常に困難なため、推測の域を出ないが(計算による動的解析も非常に困難)係留4エーンには静的破断強度に近い外力が働いた可能性は非常に少ない。現艦4エーンには破断面から逆算して静的破断強度に近い外力が働いた可能性もないとはいえないが、諸々の観測から判断して疲労クラックの進行が、破断の主因であろう。

6. 49年度ボーリング実施計画

48年度末に加古川基地に創設工号を曳航して、補修整備を行ない現在C海域に設置、ボーリングを開始している。4エーンは新しく製作したものと全部とり替え、48年度の経験を生かして次の点を改善している。

(1) 係留4エーンについては

a) 突起を食い込ませて圧着する方式は止め、全量スタッド片側を溶接する方式とした。この場合もスタッドの食い込みは極力小さくおさへ、かつ接触面のすき間を0.5mm以下におさえるよう努めた。

b) スタッド接触部(溶接部ととりつけた側も)を全数ゴムシールした。

c) 製造上の無理をへらし、じん性を増すため熱処理後の材料強度は95kg/mm²におとした。

(2) 現艦4エーンはφ95mmスタッドなしとし、ウインドラス手前でφ54mmと接続させる。4エーンストッパーはφ95mmがかかるように改造した。C海域の方が潮流条件がきびしいため現艦は85tとする。

(3) アンカーは左右対称になるようボーリングの位置を替えるたびに打ち替える。

(4) 潮流力をへらすため1回のボーリングは2本におさへ、吃水を残す(7.5m)する。

(5) 潮流変化が速いのでバラスト水の注、排水は極力へらし、揚力方式(水ヒスキー方式)を併用する。

7. あとがき

石油振替用半潜水式船足場は経験も多いが、地質調査用足場としては初めての経験でしかも明石海峡という条件のきびしい海域での作業であるため今後も改善して行くべき点が多く出てくることと考えるが、わが国の海洋土木事業の発展のためにいくらかでも参考になれば幸である。