

海底岩盤掘削のための大規模穿孔発破法

大成建設_{KK} 中尾健児

1. はじめに

海底の岩盤を掘削するには種々の方法があり、海底地質条件、海象条件などに応じて色々な工法がとられている。これらの工法はオ1表に示すように幾つかのものに大別され、それぞれの特色をまかして実施されている。

それらのうち、硬質の岩盤で、しかも水深が深いく（ここでは水深50～60m程度という）潮流などの海象条件がきびしい場所での大量の岩掘削には、陸上部で実施されているような穿孔発破方式が最も効率のよい方法と考えられている。

しかしながら、海底の爆破作業はごく最近まで水深と潮流が深くなった地盤のさく孔法、装薬、発破方式に問題があり、さらには装薬跡後の困難さからわが国では大規模に実施された例はなかった。

このような問題をかかえながら、現在計画されている本四連絡橋などの大規模さく孔も水深のある岩盤基礎掘削においては、その効率の良さから主工法として用いられようとしており、われわれも種々の問題の解決に努力してきた。

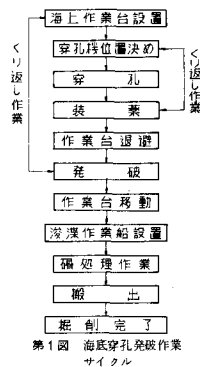
本文ではこれらの問題点について、これまでで実用化された方法ならびに現在開発中の方法のいくつかについて述べ、さらに、今後に行われる問題点についてもとり上げる。

2. 海底穿孔発破工法

現在われわれが開発した穿孔発破方式は基本的にはオ1図に示すような型で実施されている。このような型式にさまでには幾多の手法的変遷があり、簡単にオ2表のようにまとめられる。

すなわち、現在の工法は固定作業台の利用、二重管式高速回転打撃さく岩機の使用、作業台上からの直接装薬、耐水耐圧作業および雷管の使用、無線起爆方式の使用という一連の技術の開発結果が組合わされて成り立っているものである。

以下にこれらの現状と幾つかの問題点にふれる。



第1図 海底穿孔発破作業サイクル

第2表 海底発破掘削法の変遷

方式	作業方法	発破方法	装薬方法	水圧及び作業装置	経済効果	特長及び欠点
大規模	大規模の岩盤をさく	爆光機又は出火機	海上結露又は水中結露	5m以内・砂水	良い	装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ
小規模	ダイバーによる大規模の岩盤をさく	電気発破	海上結露又は水中結露	5m以内・砂水	良い	装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ
小規模	ダイバーによる海底岩盤をさく	電気発破	海上結露又は水中結露	10m以内・砂水	やや良好	装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ
小規模	ポンプ・ホースからのさく孔・装薬・起爆の簡便さ	電気発破	海上結露又は水中結露	10m以内・砂水	良好	装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ
小規模	ポンプ・ホースからのさく孔・装薬・起爆の簡便さ	電気発破	海上結露又は水中結露	10m以内・砂水	良好	装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ
小規模	ポンプ・ホースからのさく孔・装薬・起爆の簡便さ	電気発破	海上結露又は水中結露	10m以内・砂水	良好	装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ・装薬・起爆の簡便さ

2-1 穿孔作業台

海上作業台にはその使用目的に合わせて2種類の型式があるが、大別して浮上式作業台と自己昇降式作業台の2種類がある。穿孔作業を目的として使用される場合、港湾内など波浪や潮流が比較的少ない所では前者が、水深が大きく潮流や波浪等の影響を受ける場所では後者が主として用いられている。

わが国で建造された海上作業台はこれまでに十数隻にのぼるが、穿孔爆破用としてとくに設計されたものはない。

穿孔用作業台として最も効率よく利用されるためには、搭載された穿孔機が効率よく稼働できるようにその作業台の上の設置でできるだけ多くの穿孔位置が得られるように製作しなすものが望ましい。

このため、基本的には肉口部をもつ自己昇降式作業台を利用し、その肉口部をまたいで走行するトラバラーの上に左右又は前後に稼働出来る穿孔機を搭載し、肉口部内の任意の位置で穿孔できるようにした方式が一般的である。

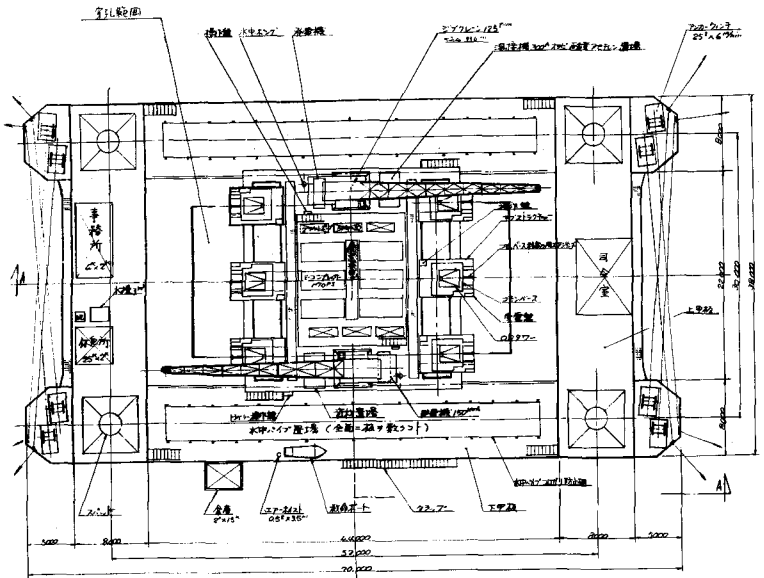
現在、穿孔爆破用として設計された専用作業台が数種あるが、わが国では多目的作業台を穿孔用に改装して使用しており、たとえば第2図、第3図に示した「M-SEPたまの」や「FLEXI-FLOAT 3号」などがある。

いずれも肉口部をほとんど穿孔機を搭載したトラバラーが稼働する型式をとり、1回の設置で数十孔の爆破用穿孔が可能である。

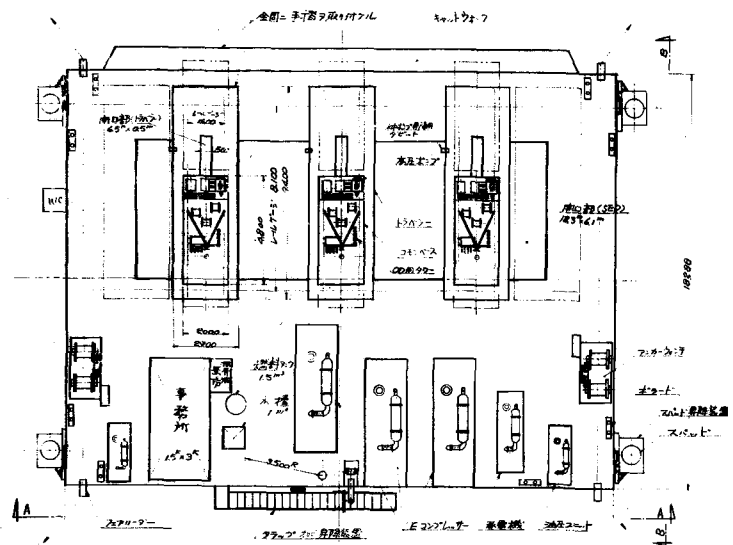
さらに「たまの」においては水深や潮流の大きな地点での穿孔作業を目的とした穿孔管を保護するための下口至パイプの昇降装置を改装しており、これまでの作業台にみられなかった色を出している。

2-2 穿孔機

海底の穿孔爆破に用いられた装置は一般に5~10m程度の穿孔長となる場合が多く、このため従来はこれらの穿孔に対してはく岩機又はロータリーボーリング機が用いられていた。しかし前者は水深の大きな場所での穿



第2図 「M-SEPたまの」による穿孔用機装図(●、平面図)



第3図 「FLEXI-FLOAT 3号」による穿孔用機装図(●、平面図)

孔に通せず、後者はその穿孔速度が経済的に不利なため最近の大型の穿孔機使用穿孔機としては主として2重管式回転打撃式岩機が使用される。

この型のさく岩機はケーシング穿孔と打撃穿孔が同時に付なされるため穿孔速度が早くしかもケーシングを通し、装薬作業が固定した作業台上から行なうことができるためである。現在最も多く使用されているのはOD機と呼ばれる311カワチロータリー・バーカシコンドリフターで欧州における実績が多い。同様の機能をもつ機種がその他23あるが、いずれも水深50m~60m程度までの使用に耐えられるだけ、それ以上の水深の場合他の穿孔機および穿孔方法を肉受する必要がある。

海底穿孔の場合、波浪や潮流の影響が大きく、強力な穿孔管や保護管を使用せねばならぬことが多く、陸上部での穿孔と異なった複雑な作業手順となる場合があり、現在では穿孔速度よりむしろこうした付帯作業の効率化に肉受の方向が向けられている。

2.3 爆薬および火工品

海中で使用される爆薬は陸上のそれとは異なり耐水耐水圧性が要求され、さらに長時間の被圧水圧での性能低下を恐るゝのが望ましい。現在陸上部で主として使用されている膠質ダイナマイトおよび工業用雷管については向題があり、新しい型の爆薬および火工品が試作肉受され、その幾つかが実用化されている。

表3に示すように、爆薬については耐水耐水圧性の改良および水圧下での爆速の確保に主眼が向けられている。雷管については爆薬と同様水深100m程度の使用は充分に実用化され、さらに耐衝撃圧圧に耐え、管体強度を大きくとることに努力が向けられている。これは水中での爆発による水中衝撃圧の発生により近傍の雷管が正常に起爆せぬ場合があり、不発の原因となつたりするためである。したがって、潜水夫を使用出来ない場合は水中用導爆線を用いた爆破方式が最も確実性が高いものと考えられており、導爆線の耐水耐水圧性の強化がなされ、さらには水中での導爆線などが肉受されている。

2.4 穿孔パターンおよび装薬法

現在実施されているパターンは表4に示すような2~2.5m間隔の正方形配置で実施されており、土自由面は爆破されている。これは穿孔機の穿孔径が最大100mm程度であり使用される爆薬径が80mm程度となるため装填される薬量から必然的に穿孔間隔が決められるためである。

一方、穿孔機的には海上作業台を利用する場合穿孔パイプを保護する保護管の直径が800mm程度になり、この管の水中でのたわみおよび荷重時のふれを考慮すれば2~2.5mという間隔はさらに大きくとりたい。しかしながら水深50m程度の浅海穿孔を考えた場合、標準薬量 $45 \sim 100 \text{ kg/m}$ と想定すれば穿孔間隔を大きくすることにより穿孔径が大きくなり穿孔機の大径化を促し穿孔速度の低下を免れ、これはさらに作業台の作業効率を落すことになり経済的負担を大きく上昇させる。

こうしたことから、爆破に要する穿孔本数もより少なくし、穿孔速度を上げ、多数孔と同時に爆破することにより作業台の作業効率と上げ掘削コストの低下をはかることに肉受の方向が向けられている。

穿孔後に爆薬を装填するにはこれより潜水夫が浅海で行なうか、あるいは予め穿孔した孔をパイプ等で置換し、このパイプを通して用合に

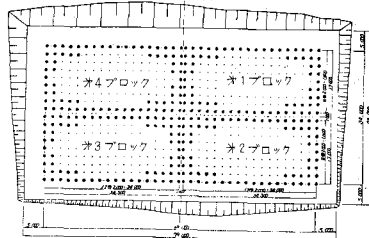
第3表(a) 海底用爆薬

性能	名称	GX-1 ダイナマイト	CX-1 ダイナマイト	SX-1 ダイナマイト	粒状TNT*
比 重	(g/cm^3)	1.50~1.60	1.50~1.80	1.40~1.60	1.12 (水充満)
爆 速	(cm/s)	21~30	60	60	60
燃 速	(m/sec)	102.00	11,000	11,000	—
爆 圧	(kg/cm^2)	6,800~7,300	7,000~7,500	7,500~8,000	6,000~6,500
耐 水 性	(kg/cm^2)	10	10	10	6
主 成 分		ペンシリット、RDX、TNT	RDX、TNT	RDX+樹脂 (ヘキサゲン)	RDX+TNT

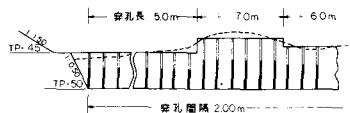
*ブースター型

第3表(b) 海底用雷管

性能	名称	EDX-1	EDX-2	EDX-3	CN-1
耐 水 性		10kg/cm ² , 10日	10kg/cm ² , 30日	10kg/cm ² , 30日	10kg/cm ² , 30日
耐 圧 性		20.5mm以上	同 左	同 左	同 左
耐 電 圧		8kV	同 左	同 左	同 左
耐 熱 性		60℃, 2h以上	同 左	同 左	同 左
管 体		φ=30mm, 8号	外管径φ (Br 1mm) 1=54mm	外管径φ (Br 3mm) 1=136mm	外管径φ 32, 1=120mm
脚 線		φ=0.6mm	同 左	φ=0.6mm	φ=0.6mm
耐 剪 断 性		400~500 kg/cm ²	1,400 kg/cm ²	1,800 kg/cm ²	1,800 kg/cm ² 以上



第4図 穿孔免破パターン計画例 (a, 平面図)



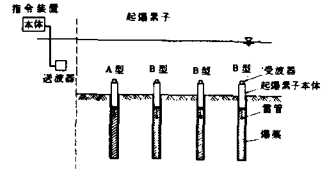
ら装薬する方法がとられていた。この方式は水深が深く、波浪などの影響が少なく場合はより経済的な方法と考
えられすが、ここで述べる作業台を使用するような大水深の場合は実施不可能である。このため前述した2重管
式の穿孔機を用いた作業台からの直接装薬という方法が考案され、穿孔と同時に装薬を行なうことにより潜水
作業による装薬の困難さが解決された。

しかしながら、こうした水深や波浪、潮流などがある場合、穿孔数が多くなると水電気交破用脚線が破れ
たり、断線したりする危険性も増大し、又、脚線からの漏電なども生じやすく多数孔の同時爆破は非常に困難
な状況にあった。

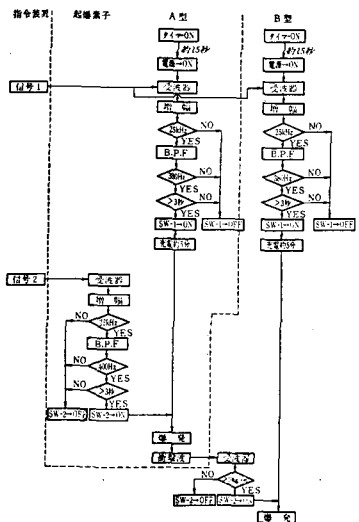
このため、脚線を用いた電気交破に代って無線起爆方式が考案され、装薬に伴う脚線処理の問題を解決して
いる。

2.5 起爆方式

大規模穿孔交破で最も問題となっていたのは、先にも述べたように従来の電気交破における脚線処理の困難さ
と、それに伴う不発事故の危険性であり、これらがこれまでの海底穿孔交破の規模を制約していたとしてもよ
い。このためわれわれも起爆を完全に無線にする努力をツブナ台図に示すような超音波による無線起爆方式
と実用化した。この方式は孔内に装填する爆薬に超音波受信装置をつけ
この受信部が信号を受けると起爆電流と流すように設計されたもので、幾
つかの安全回路を設けより安全に確実に起爆する。このため装薬作業
および脚線処理に伴う危険性が解消され、全体の作業が単純化され
作業効率が向上している。このほかにも右図に示すような、内形電場を
強く電磁場を利用した電磁誘導方式も考案されている。



この方式も爆薬に直接入れた起爆部を一体化し、穿孔内に直接装
填出来たため簡便であるが、超音波方式は電子回路作動のための電池の
寿命に支配される欠点があり、電磁誘導方式は高電圧を流すループアンテ
ナを海上又は海底に設置する作業が必要で、さらにアンテナ直径の半
分程度の水深にのみ有効なため大水深での使用に限界があることなど
を今後検討すべき点が残されている。



第5図 超音波起爆方式

3. 今後の問題

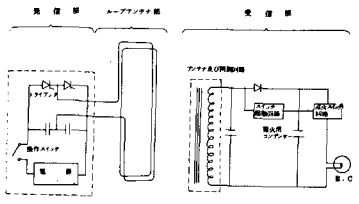
ここに述べた大型海上作業台を用いた穿孔爆破方式は現状では水深50m
程度まではこのままの型で充分対応できると考えられすが、それ以上の水
深での作業については全く新しい工夫が必要とする。

穿孔方式については概念的に潜水式穿孔機が考案されたものと考えられ
すが装薬方式については何ら具体的方策はない。爆薬、火工品についても
さらに改良されゆくものと考えられる。起爆方式については現在的方式
で数米まで制御可能であり充分対応出来るよう。

なお、掘削に伴う海水の汚濁防止法、水中衝撃圧の軽減法などの公
害防止法に関しては早急に対応すべき問題も多く今後の研究が待たれる。

一参考文献一

- 中尾 銀三「OD工法とその海底岩盤掘削への応用」1970、大成技術報。
- 中尾 〃「海洋土木における水中爆破」1971、橋梁 Vol.1
- 〃、銀三「遠隔起爆装置による海底穿孔交破工法」1972、大成技術報。 54。



第6図 電磁誘導起爆方式の原理

On the Excavation by the Method of Large Scale Underwater-Drilling and Blasting

Kenji Nakao, Taisei Corporation

Some new techniques on the large scale seabed blasting method are described.

Technical procedures of this method on this paper are consist of 1) use of self elevating drilling platform, 2) use of high speed rotary percussion drifter with casing tube, 3) direct loading of explosives from the work platform deck, 4) use of new waterresist explosives and detonatores developed for this method, 5) use of wireless blasting systems.

Blasting and drilling of the seabed are all carried out from the work platform above the sea, where is no need for diving work and for wiring work.

Further, these new systems permits the drilling and blasting of seabed in place where the current is fast or where the sea is deep; previously drilling and blasting were considered impossible in such places.

Some considerations on these new techniques and procedures are described from the technical point of view.