

日本海中部地震災害復旧工事

Restoration Work of Disaster Area Suffered from The Nihonkai-Chubu-Earthquake

中川 正吉*
Tadayoshi Nakagawa

大井 誠**
Makoto Ooi

要 約

本報文は、日本海中部地震津波災害の復旧工事のうち、転倒したケーソンの浮上及び基礎捨石の均し工の工事報告に関するものである。ケーソン浮上には大型機械（120t 吊グラブ浚渫、ドラグサクシオン船）を導入し、基礎捨石均し工には50t 重錘による機械均し工法を採用した。

本工事は災害復旧という緊急性を要するものであったので工程短縮が強く要望された。

結果は上記の工法の採用により3ヶ月の工程を2 $\frac{1}{3}$ ヶ月に短縮できた。

目 次

- §1 はじめに
- §2 日本海中部地震津波の概要
- §3 被災状況と被災原因
- §4 復旧方法の決定経緯
- §5 施工概要
- §6 施工実績
- §7 おわりに

§1. はじめに

能代石炭火力造成工事は、東北電力能代火力発電所建設の一環である発電所用地の埋立て工事であり、その用地規模は約159haである（Fig.1）。

当社の工事はこの埋立のための護岸工事であり、施工延長は440m（全延長1,300m）、護岸型式は重力式消波ブロック被覆型（ケーソンは1,150t級）となっている。そのうち20mは発電所の温排水口となる放水管（φ3,600mm）が埋込れたケーソン5函となっている（Fig.2, 3）。

本工事は昭和56年12月に着工、昭和58年5月に前面ケ

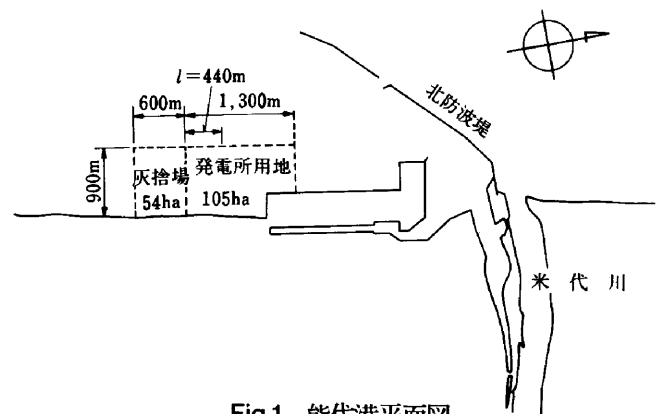


Fig.1 能代港平面図

ーソン護岸の閉合を完了させ、58年7月から背面の埋立てを開始する予定であった。しかし、昭和58年5月26日日本海中部地震津波により、ケーソンの移動、破損、水没、基礎捨石及び被覆石の散乱等の大きな被災を受け、工事の遅れを余儀なくされた。

本報文は、この津波の概要と、一連の災害復旧工事の施工について報告するものである。

§2. 日本海中部地震津波の概要

昭和58年5月26日午後0時0分18秒、東北地方から北海道にかけてマグニチュード7.7の大地震が発生、秋田、

*東北(支) 能代造成(出)副所長

**東北(支) 能代造成(出)

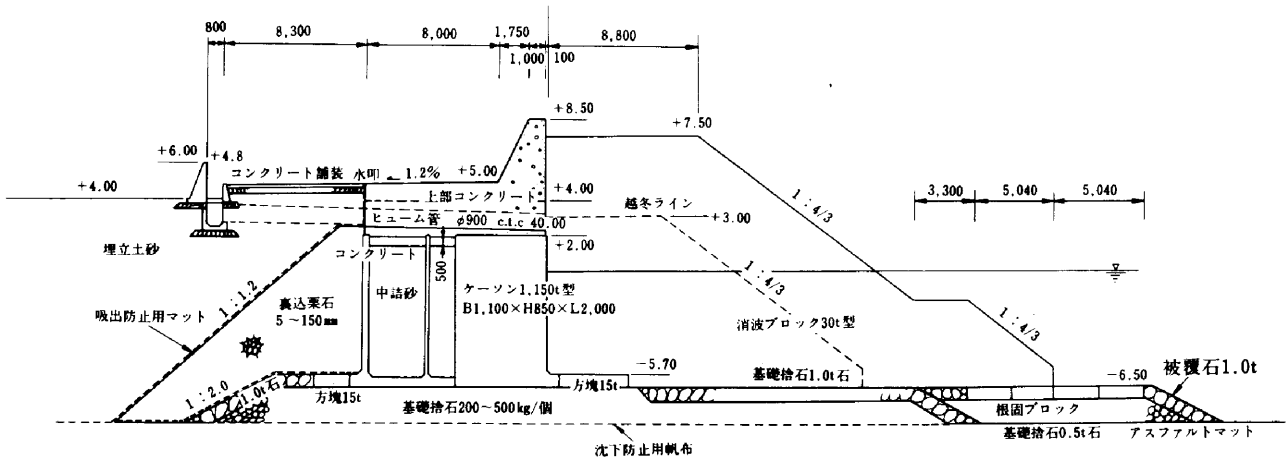


Fig.2 標準断面図

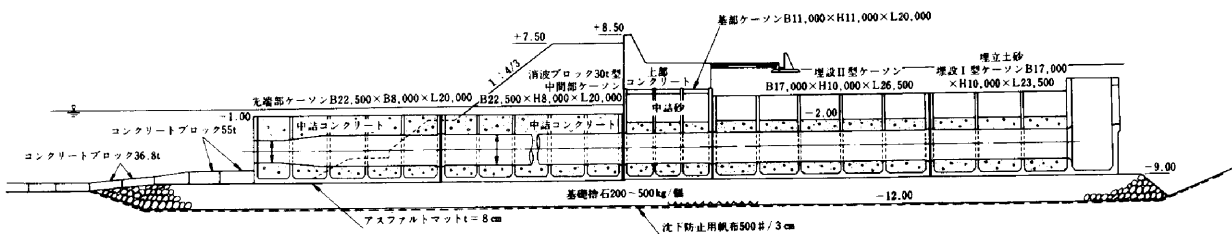
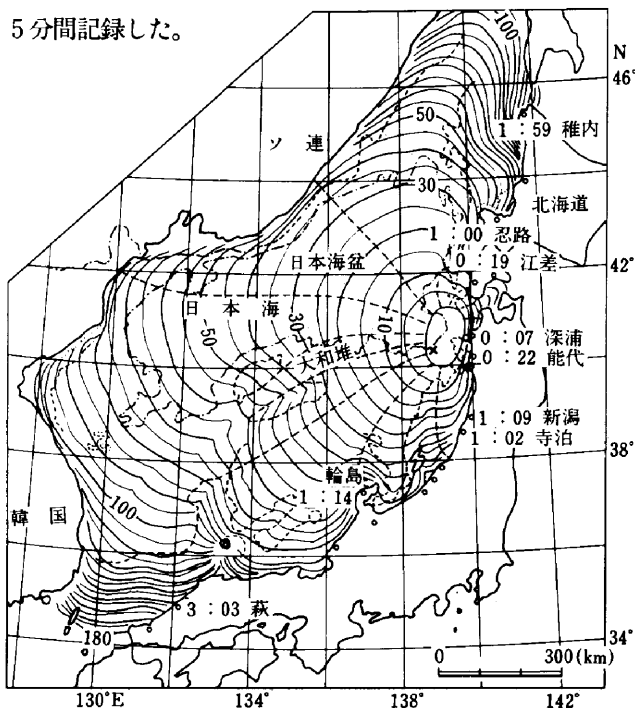


Fig.3 放水口側面図

青森両県が震度Vの強震に見舞われた。余震域は、秋田沖から青森沖にかけて南北100~120km 東西60~70km のだ円形の地域で震央は北緯40°25′, 東経138°55′, 震源の深さ10kmと推定される。秋田地方気象台の観測では、まず初期微動が18.7秒間、続いて最大の揺れ(本震)を5分間記録した。



波面は5分間隔。波向線は波源周辺を16等分したもの。

Fig.4 津波伝播図

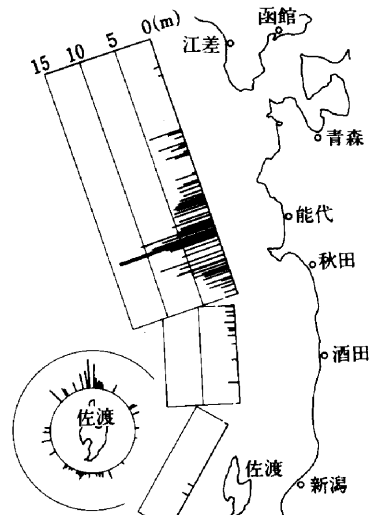


Fig.5 津波痕跡高

この巨大地震に加え、秋田県を中心にした日本海沿岸は急激な津波に襲われた。波源に直面する沿岸での検潮所数が少ないが、深浦、能代、男鹿いずれもわずかの引きから始まっている。Fig.4は津波伝播図である。秋田、青森沿岸は波源に近く津波エネルギーはあまり広がることなく襲来していることがわかる。Fig.5は秋田・青森を主とした津波痕跡高の調査速報で、文部省科研費グループおよび五洋建設の調査結果を示す。最大打上げ高はなだらかな海岸線に面する峰浜村の砂丘上で生じT.P+14mを越えた。この海岸は約30kmで100mの深さになる遠浅海岸であり、波状段波が完全に発達する余裕のあったことがわかる。(Fig.4, 5)。

§ 3 . 被災状況と被災原因

3-1 被災状況

被災前日、20号函・21号函を据え、火力用前面護岸は完全に締め切りを完了し、当日は17号函の上部コンクリート打設、20号函・21号函の蓋コンクリート打設予定であった。

激しい揺れが収まったあと、0時20分頃西北西の方向から津波が押し寄せてきた。一波目は堤頭部を少しかぶる程度であったが二波目が非常に大きく堤体にぶつかり10m以上も波しぶきがあがり、ケーソンは大きく内港側に移動した。ケーソン12函(弊社分6函=16~21号函)が完全にマウンドを外れ海中に没し、24函(弊社分5函=1, 2, 3, 14, 15号函)が法線から平均10m移動し傾いた。水没したケーソンの中には計画護岸法線から70mも飛ばされ半壊しているものやケーソンが転倒しているものがある。概ね、水没したケーソンの内港側は3m~6m程度洗掘されその中に落ち込むような形である。マウンド石の散乱は激しく引波でもっていかれたらしく大きく外港に崩れ、根固方塊消波ブロックは破損し沈下

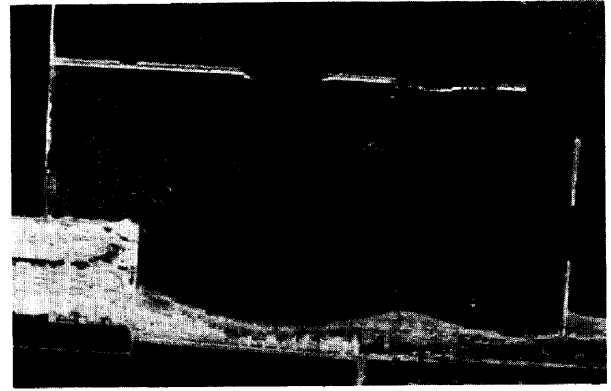


Photo1 被災全体状況 58. 5. 26PM 4 : 00撮影

していた。Fig.6に示すように、前面消波および裏込栗石投入を完了した部分は被災がなかった(Fig.6, Photo 1, Photo 2)。

3-2 被災原因

能代石炭火力用地護岸の設計波高は $H_{1/3}=5.8\text{m}$ 碎波として設計してあった。来襲した段波状の津波はFig.1に示す北防波堤を越流したことからその波高は約6mと推定されかつ堤頭部に波の集中が起こり堤頭部

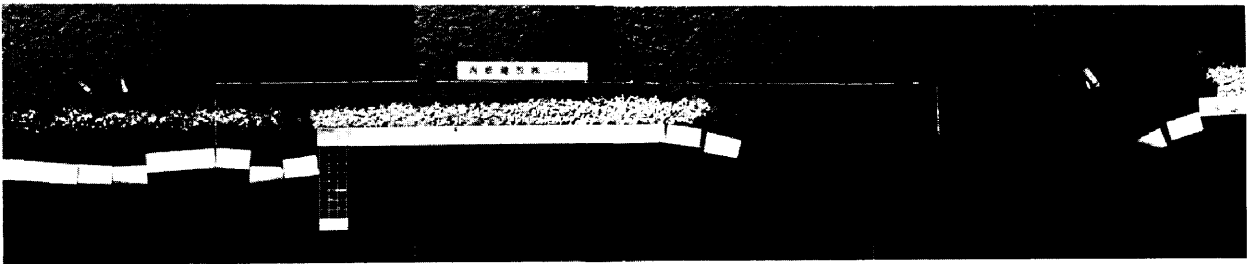


Photo2 被災状況 西松建設側L=440m

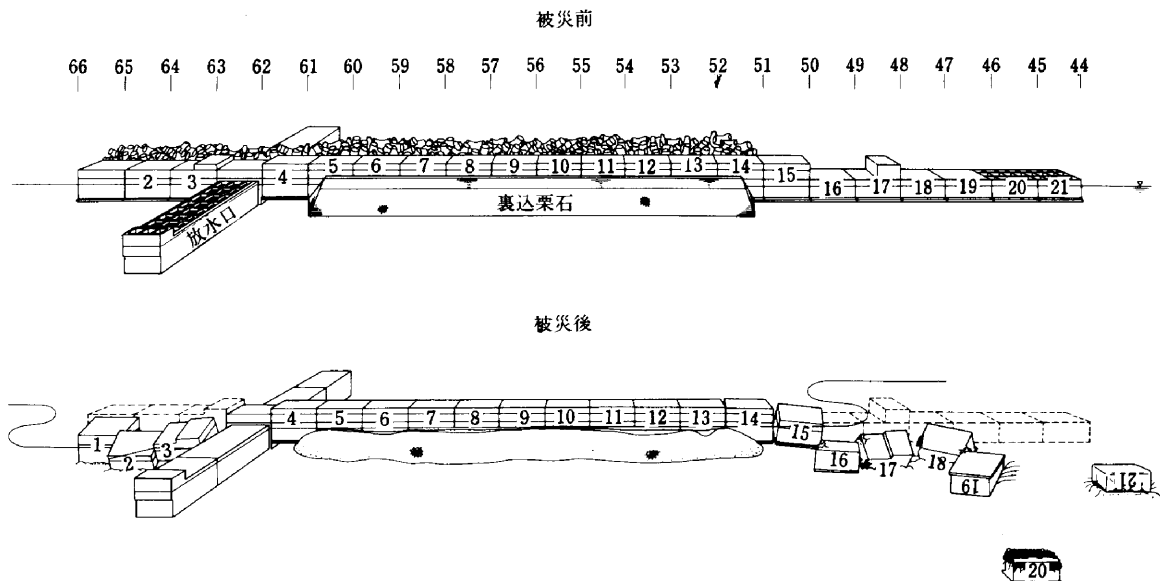


Fig.6 側面図

において波高の増大があったと考えられる。

ちなみに、波圧強度 p を、 $p = \alpha \cdot w \cdot H$ とおいて波向は堤体法線に直角と仮定して通常の安定計算から α を逆算すると Table 1 のようになる。この試算によると、段波状津波の波圧強度係数は通常の値の20%増以上50%増未満に入る。

Table1 津波波圧係数の試算

被災状況	北防波堤被災ナシ	火力護岸被災ナシ	火力護岸ケーソン転落水没	火力護岸ケーソン滑動
通常の波圧係数	1.5	1.0	1.5	1.0
安定限界の波圧係数	2.35	2.01	1.3	1.18

§ 4. 復旧方法の決定経緯

6月20日からダイバー、潜水夫による被災部の調査を行った。その結果、水没ケーソンは破損が激しく浮上は不可能、また浮上するのに高価なものとなり、新しく製作し据付けた方が安価になると判断した。

7月6日、7日能代港建設事務所、東北電力、運輸省とで復旧方法の会議が開催され7月10日各施工業者に下記のような復旧方法が決定した。

- ① 年内に火力用地護岸は完全に締め切り越冬断面迄完成させる。
- ② 水没部ケーソン12函（我社分6函）は新しく製作し、傾いたケーソン7函（我社分5函）は浮上させ再使用する。
- ③ 灰捨場護岸は現状の移動したケーソンのまま消波ブロックを据え越冬させる。
- ④ 新しく製作するケーソンを据付けるのでは工程的に無理なので灰捨場護岸工事用の既成仮置ケーソン10函を火力用地護岸に転用し残り2函を製作し締め切る。

なお、海象条件と稼働日数を考慮すると作業可能なのは10月初旬までで約3ヶ月間の工程であった。

§ 5. 施工概要

復旧工事内訳を Table 2、主要機械船舶を Table 3 に示す。

5-1 ケーソン浮上

(a) 上部コンクリート撤去

傾いたケーソンを浮上させる為にはまず、上部コンクリート1函当り690m³を撤去しなければならない。この方法として以下に示す3案が考えられた。

- ① 火薬及びCCRを使用する方法
- ② 機械による方法

Table2 復旧工事内訳

項目	工種	形状寸法	単位	数量
基礎工	帆布	#300	m ²	2,925
	アスファルトマット	12.5×5.5×0.05	m ²	2,887
	基礎捨石投入	200-500kg/個	m ³	6,160
	基礎捨石投入 荒均し	±30cm	m ²	1,548
	基礎捨石投入 本均し	±5cm	m ²	4,217
本体工	ケーソン製作	20.00×11.00×8.50	函	5
	ケーソン製作(異形)	18.30×11.00×8.50	函	1
	ケーソン据付		函	11
上部工	上部コンクリート	160-8-40	m ³	3,072
被覆工	被覆石投入	1.0t石	m ³	1,130
	被覆 荒均し	±30cm	m ²	1,423
	根固方塊製作	15t	個	75
	根固方塊据付	15t	個	145
消波工	異形ブロック製作	32tテトラポッド	個	84
	異形ブロック据付		個	720
裏込工	裏込栗石投入		m ³	2,221
	裏込栗石均し		m ²	3,296
雑工	上部コンクリート撤去 蓋コンクリート		m ³	3,453
	中詰砂撤去		m ³	6,585
	ケーソンこわし		m ³	464
	背後埋戻栗石		m ³	5,770
	裏込栗石撤去 異形ブロック撤去	32tテトラポッド	個	2,221 636

Table3 主要機械船舶

船種	規格	単位	数量	摘要
全施回起重機船	180t吊グラブ浚渫 グラブ容量16m ³	隻	1	水没ケーソン取りこわし
	180t吊	隻	1	重錘均し(本均し)
	120t吊	隻	1	消波ブロック撤去 据付
	75t吊	隻	1	消波ブロック撤去 据付
	80t吊	隻	1	上部コンクリート撤去 ケーソン据付
	45t吊	隻	2	上部コンクリート撤去
ドラッグサクシオン船		隻	1	中詰砂撤去
ガット船	499t級	隻	2	基礎捨石、中詰砂 栗石投入
コンクリートミキサー船	900m ³ 練り	船団	1	上部コンクリート打設
曳船	450PS	隻	1	ケーソン曳航
潜水士船	5t	組	6	基礎捨石荒均し 方塊消波撤去
交通船	70PS	隻	1	
フローティングドック	3,500t	函	1	ケーソン製作
ロックブレイカー (水中用)	BSP-1100	台	3	上部コンクリートこわし
クローラクレーン	120t吊	台	2	消波ブロック積卸し
トレーラー	30t積	台	3	消波ブロック運搬
タイヤローダー	TCM275B	台	1	基礎捨石積み込み
ダンプトラック	11t積	台	4	中詰砂運搬

③ 薬剤による方法

この内①③については以下の理由により採用には無理があり②の工法によるものとした。①の火薬工法は漁民に及ぼす影響が非常に大きくなり、他工区の作業船の航行に対する危害防止上秋田海上保安部から使用許可がおりなかった。③の薬剤工法は二次破碎をかけねばならず

経済上高いものになる。

②の機械工法では、ロックブレイカによる方法と油圧ジャッキによる方法が考えられたが油圧ジャッキによる方法も二次破碎をかけねばならずロックブレイカによる方法を採用した (Photo 3)。

(b) 中詰砂撤去

上部コンクリート、蓋コンクリート撤去後中詰砂1両当り1,500m³を撤去する。ケーソン浮上工程で一番の問題になるのがこの中詰砂の撤去方法である。オーソドックスな方法としてクレーン船によりクラムシェルで撤去する方法があるがクラムシェルの容量はケーソン隔室の

大きさに制限されせいぜい0.6m³迄である。海面上に出ている部分は良いが海中になるとオペレータからの見通しが悪くクラムの操作性が悪い。

従って当工事ではドラグサクシオン浚渫船を使用し浚渫ポンプにより中詰砂を海水とともに吸い上げ直接舷側に排砂する方法とした。完全に中詰砂を撤去しないと通水孔が隔壁の一番下についている為、浮上の際バランス良く浮上しない。ドラグサクシオン浚渫船では完全に撤去するのは困難な為、潜水夫によりエアリフトで各室完全に撤去することにした (Photo 4)。

(c) 揚水

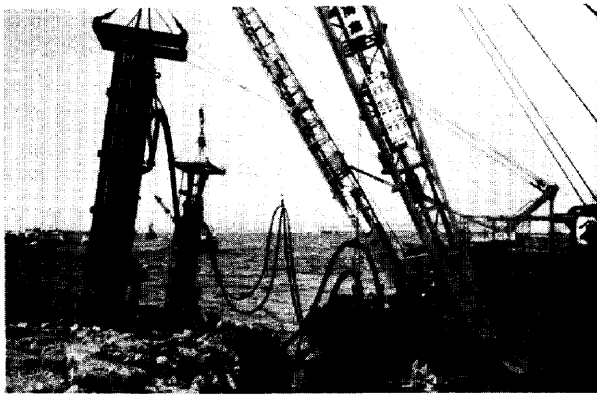


Photo3 上部コンクリート撤去

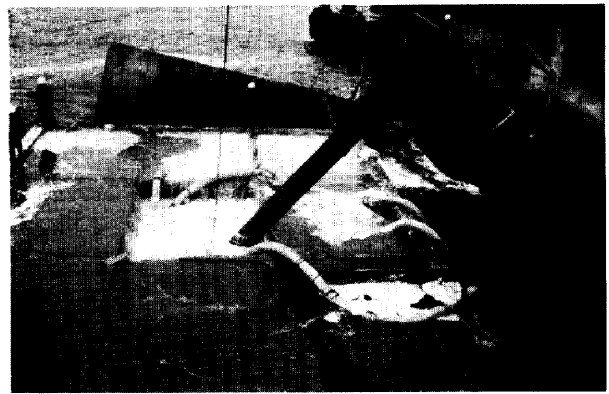


Photo4 中詰砂撤去

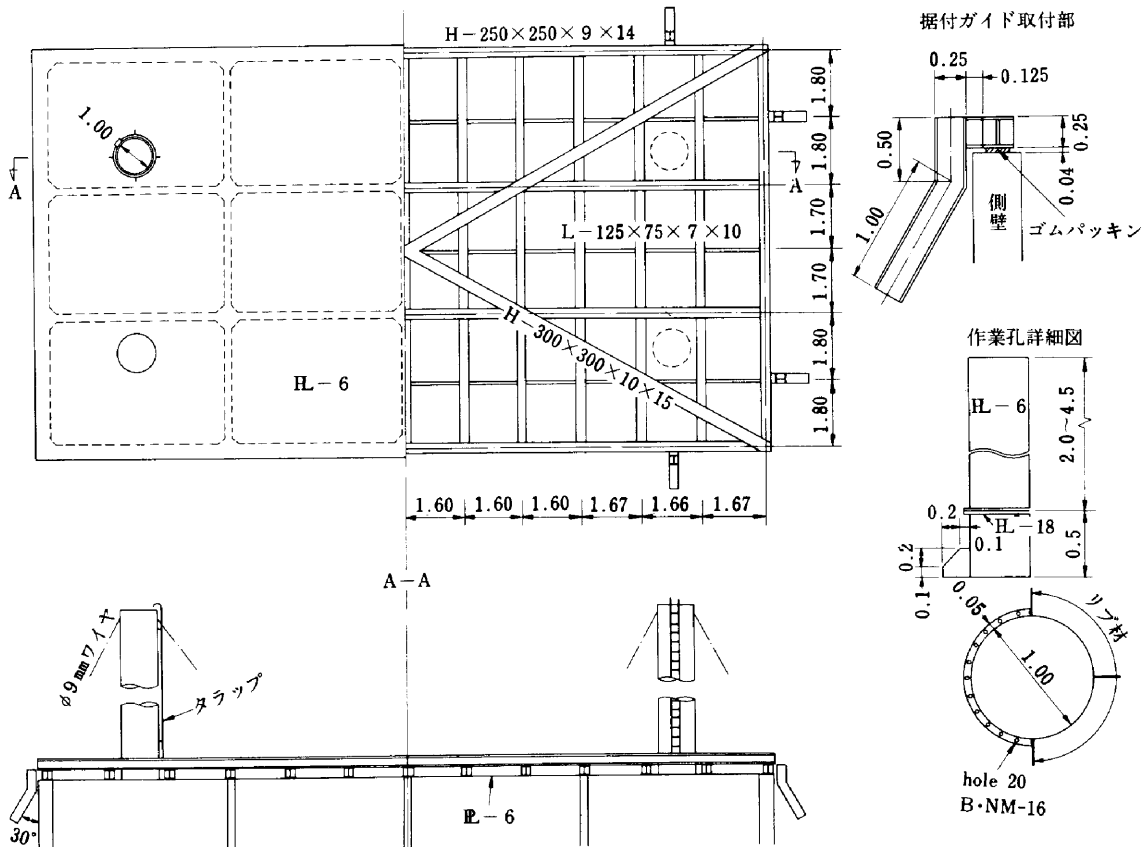


Fig.7 鋼製蓋

上部コンクリート、中詰砂の撤去完了後ケーソン内の海水を汲み揚げ所要の浮力を与える。海中に没しているケーソンは Fig.7 のような鋼製蓋を製作し 8 インチの水中ポンプ 4 台を作業孔から設置し揚水を行った。鋼製蓋は最大水深に余裕高をみて水圧に耐えるように設計しケーソン天端と接する面は厚さ 4 cm のゴムパッキンをのり付けし水密性を良くした。また、浮上ケーソン 5 函中 3 函が鋼製蓋を必要としそれぞれ水深が違う為、作業孔の位置をかえることができるようにボルト締めとした。

上部コンクリート撤去中にどうしても側壁の天端をいため欠ける部分が生じる。この様な部分は鋼製蓋を設置したのちに潜水夫により、土のう袋、ウェスで間詰めを行った (Fig.7, Photo 5)。



Photo5 揚水

5-2 重錘による基礎捨石均し

基礎捨石マウンドの均しはケーソン、根固方块据付面の本均しと、その他荒均しに区別できるが施工精度は仕様書で本均しを±5 cm 荒均しを±30cm と規定している。

本均しについてはケーソン据付工程及び出来形精度に大きく影響するので作業工程、施工精度には充分留意するとともに急速施工の為、比較的装置も簡単で精度的にも期待できる重錘によるタンピング方法を実施した。

(a) 重錘均し施工方法

- ① ガット船などにより基礎石を所定位置に荒投入する。ここで高さを施工高より 50cm~70cm 低く指示する。
- ② 荒投入の後、潜水士の指示により仕上投入を-6.1 m 迄行う。仕上投入の管理は±40cm で実施する。
- ③ レッド網にて測量を行い過不足を確認し±40cm を外れる箇所の補充投石及び除去を行う。
- ④ 施工高確認後重錘 (50t) にて転圧均しを行う。

- ⑤ レベル検測により転圧厚をオペレータに指示しながら作業を続ける。
- ⑥ 転圧均し終了後潜水士により、跳ね石を除去、間隙の穴埋 (仕上げ石 50~100kg/個) を手直し確認をする。
- ⑦ レベルにより 5 m メッシュで検測し±5 cm の規格値を確認し完了 (Fig.8)。

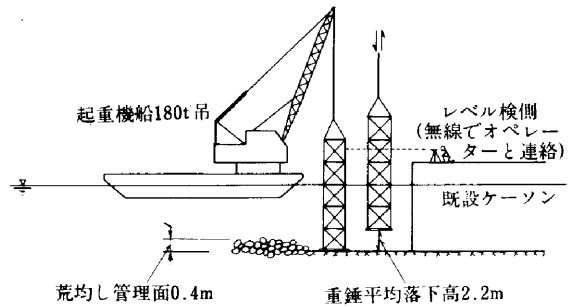


Fig.8 本均し作業図

(b) 重錘均し施工諸元

- ① 本均し施工高-6.5m
- ② 転圧厚さ (余盛高) 0.4m
- ③ 施工精度±5 cm
- ④ 重錘平均落下2.2m
- ⑤ 重錘50t (Fig.9)。

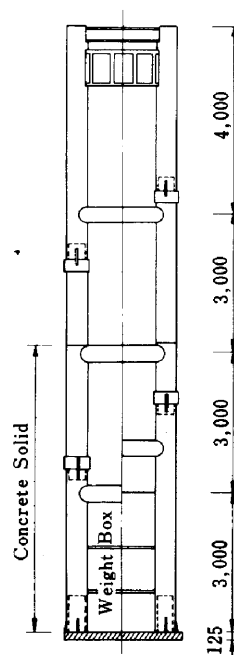


Fig.9 重錘概要

(c) 重錘均しと手均しとの比較

Table4 重錘均しと手均しとの比較

	手均し工法	重錘均し工法
施工精度	遺形にならうので良好	水面上で完全管理ができる
均し面	手均して並べるので締りがない	重錘落下で完全転圧される
本体工の沈下	余盛りを施しても長期にわたる沈下で上部工の施工に難点がある	圧密されるので沈下量は、短期微量であり上部工の早期施工容易
大水深の均し	水圧の関係で大量工事は無理	特殊な重錘で行うので大量工事も可
波高による限度	波が高いと作業は困難	クレーン船を大きくすると多少波が高くても可
検査	標尺の垂直の保持が難しく水深が深いと潜水夫並びに潜水船の数を必要とする	重錘機を視準できるので随所任意点の確認ができる
潜水夫の人数	面積により多人数が必要	若干必要
工期	長期間	短期間で急速施工が可能

重錘均しは均し作業だけとしては潜水士による手均しに比べ船舶の回航費、休業保証を加味すると30~40%割り高となるが急速施工時や他作業と共有すれば得策と考えられる。

5-3 水没ケーソンの取りこわし

水没ケーソンは将来火力発電所の工事に支障のない位置ではあったが、作業船の航行および作業に支障があった。内港側にある為、内港側から上部コンクリートを打設することができず外港側からの打設では稼働率が非常に低下する。従って最低-5.5mの吃水を確保する為、水没ケーソンを取りこわした。

取りこわしには非航式プリストマン、80t吊起重機船を使用した。底盤、蓋コンクリートは砕岩用鋼棒(重量50t)を自然落下させその打撃力によって破碎し、側壁・隔壁は砕岩用グラブバケット(グラブ容量16m³、重量75t)によりコンクリートを噛み切る方法をとった(Photo 6)。

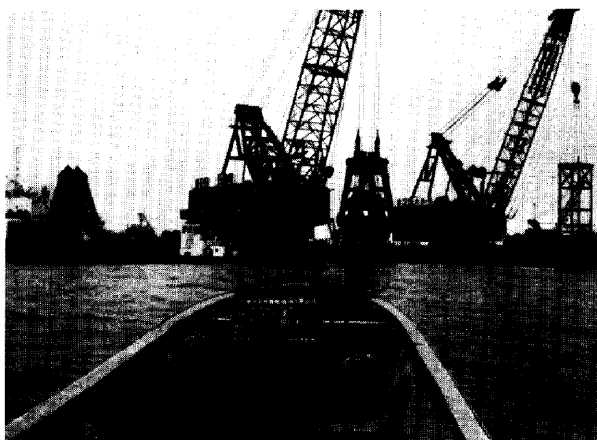


Photo6 水没ケーソンとりこわし

§ 6 . 施工実績

6-1 予定工程と実施工程

Table 5 に示す。

6-2 工事記録

(a) ケーソン浮上

上部コンクリート撤去からケーソン仮置きまでの1函当たりサイクルは、上部コンクリート撤去平均8日間、中詰砂撤去6日間、浮上・曳航・仮置に1日合計15日間であった。

中詰砂撤去作業で水上にある部分はドラクサクシオン船を使用できない為、海水を汲み揚げながらおこなった。また、中詰砂の中に上部コンクリートの塊が残る思うように撤去できず、その都度クラムシェルを併用した。

14・15号函は問題なく浮上できたが1・2・3号函は放水口と中仕切り矢板にはさまれた狭区域で1号函、3号函はドラクサクシオン船での撤去は無理であった。そこで2号函を先きに浮上させ、その間にドラクサクシオン船を入れ作業半径を得ようとしたが2号函は揚水しても浮上してこなかった。調査の結果、上部コンクリートの砕りガラが3号函との間にはさまり互いにせり合った状態であった。そこで1号函から浮上させることにし、中詰砂を0.6m³クラムで撤去し、浮上を試みたが1号函も隣工区のケーソンとせり合いなかなか浮上せず1200馬力のタッグボートで強引に引き出した。

ケーソン浮上要領図を Fig.10 に示す。

(b) 重錘均し

今回被災を受けたマウンドは前年度に先行捨石を行い越冬させケーソンを据付けた部分で十分に締め固められていた。マウンドは完全に洗掘された訳ではなく一部残っていてその上に新たに捨石投入をしマウンドを重錘均しにより施工した。通常の余盛高でタンピングを行っても平均落下高では施工高がなかなか得られず落下高を高くした。タンピングを行うと先に均した方のマウンドが高くなる現象が生じ、計画施工高に仕上げるのにかなりの労力を要した。試行錯誤の結果、被災前の捨石が残っている部分は余盛高は0.2mとし落下高を15mとした。

重錘均し施工能力を Table 6 に示す。

沈下は据付、中詰砂投入後1週間程度で落ち着き、沈下量も手均しの半分で済み上部コンクリートを越冬ラインで止めることなく一気に完成断面まで施工することができた。重錘均しと手均しのケーソン沈下実績を Fig.11 に示す。

今回、重錘転圧均しを実施し所期の目的を達成したが

Table5 実施工程と予定工程

工種	単位	数量	7月			8月			9月			10月								
			10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31						
1号函浮上	函	1																		
2号函浮上	函	1																		
3号函浮上	函	1																		
14号函浮上	函	1																		
15号函浮上	函	1																		
水没ケーソンこわし	m ³	464																		
消波ブロック撤去	個	636																		
帆	m ²	2,925																		
フェアラフトネット	m ²	2,887																		
基礎砕石投入	m ³	6,160																		
泥均し	m ²	1,548																		
本	m ²	4,217																		
ケーソン製作	函	6																		
ケーソン取付	函	11																		
上部コンクリート	m ³	3,072																		
基礎砕石投入	m ³	1,130																		
泥均し	m ²	1,423																		
振動方塊製作	個	75																		
振動方塊取付	個	145																		
消波ブロック取付	個	720																		
基礎砕石投入	m ³	2,221																		S.59. 4月中旬に竣工
基礎砕石均し	m ²	3,296																		S.59. 4月中旬に竣工

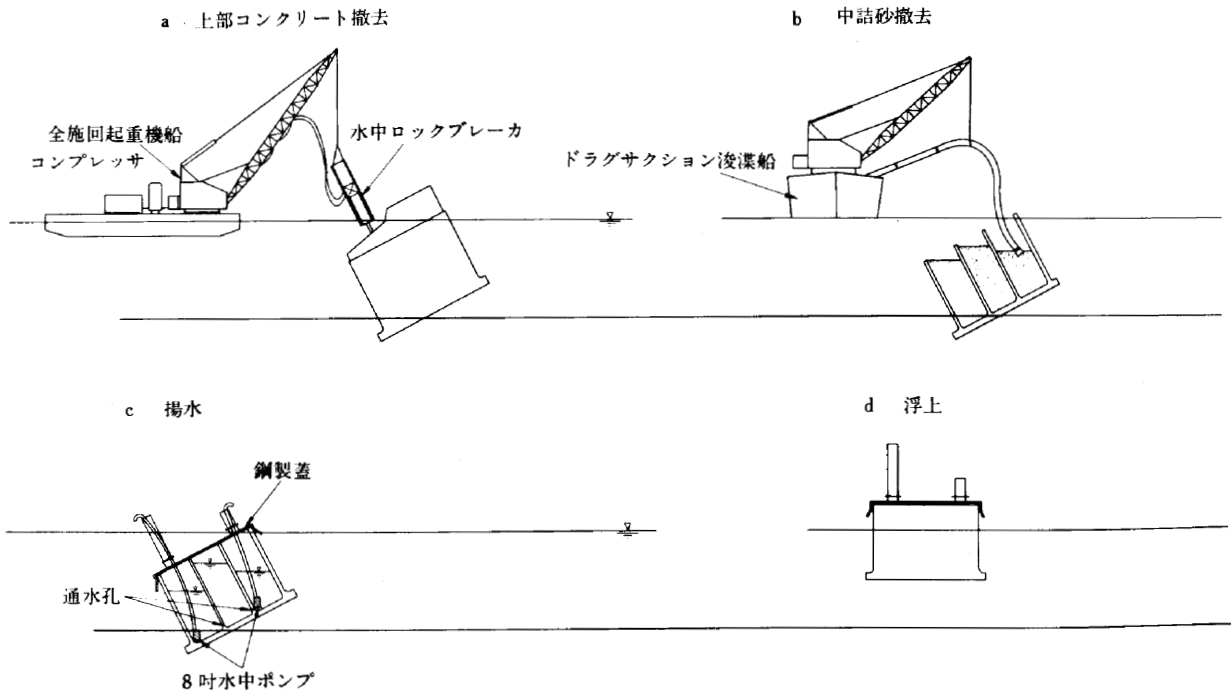


Fig.10 ケーソン浮上要領図

Table6 重錘均し施工能力

均し面積	稼動日数	1日当りの 運転時間	延運転時間	時間当り 仕上り面積
2,730m ²	8日	13h	104h	26m ² /h

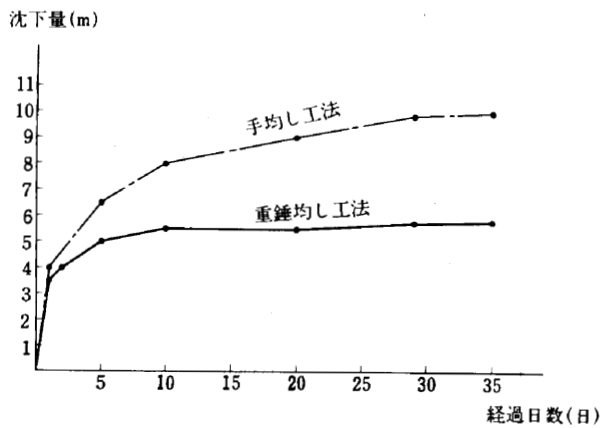


Fig.11 重錘均しと手均しとの沈下量

まだ検討する余地もある。これからの課題として残ると思うものをあげると次のとおりである。

- ① 起重機船の能力及び重錘重量をどのように規格するか。
- ② 転圧厚をどのように定めるか。捨石厚との関係、使用石材の粒径、施工地盤との関係も究明する必要がある。

- ③ 帆布への影響はないか。
- ④ 経験的要素（重錘落下高さと沈下関係）が多く、熟練したオペレータが必要である。

6-3 海象条件

海上における作業を主体とするため必然的に気象、特に海象の影響を強く受ける。本港において7月、8月は台風、低気圧の接近もなく海象は穏やかであった。風は東から南東方向の風が最も多く出現し全体の60%をしめた (Fig.12)。

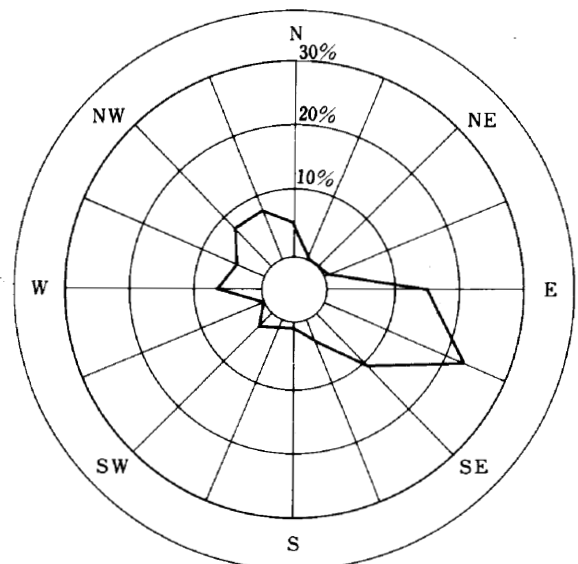


Fig.12 風況図

この方向の風は陸方からで風速10m/sec以上でも作業可能であったが逆に北西から南方向は風速7m/sec程度で作業工種によって困難となった。

波高は $H_{1/3}=1.0\text{m}$ 以下の出現率は7・8月で90%，9月で75%，このうち $H_{1/3}=0.5\text{m}$ 以下が70%近くあり工事最盛期に大変良い条件であった。

波高と作業可能な工種を Table 7 に示す。

Table7 波高と作業可能な工種

波 高	作 業 内 容
0.5m以下	方塊据付，各種荒均し
0.7m以下	帆布，アスファルトマット布設，函塊据付
1.0m以下	コンクリート打設，捨石本均し
1.2m以下	捨石投入，中詰砂投入
1.5m以上	作業中止

§7. おわりに

当工事を期限内に完成させるのは非常に困難ではないかと思われたが海象条件にも恵まれかつ工法，船舶，機械を早めに決め対処し各協力会社の努力により無事完成し初期の目的を達成できた。

最後に日本海中部地震津波により能代火力造成工事全体で34名の犠牲者を出し深く哀悼の意を表すると共に亡なられた方のご冥福を心からお祈り申し上げます。また，全国からあたたかい御支援を賜り，行方不明者捜索活動に御協力いただいた方々共々この紙面をかりて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 秋田県「能代港における石炭火力発電所の建設計画概要」
- 2) 土木学会「土木学会誌」1983 vol.68 No.9