



東京 國際空港 앞바다의 人工島造成

Building a man-made island in the off-shore of International Tokyo Air-port.

許 垰*
Ginn Huh

本原稿은 '93年 4月 東京都 港灣局 嬉野 通史 調査役의 案內를 받아 展開事業現場을 踏査하고 開聯資料를 가지고 와서 整理한 것으로 우리나라에서도 이미 着工한바 있는 永宗島 新空港 建設, 計劃中인 釜山人工島 建設等 貴重한 參考資料가 될 것으로 確信하는 바이다.

1. 干潟地造成的의 目的과 構造斷面·外
2. 環境保全에 最善을 다한다.

東京 國際空港 앞바다의 人工島 造成
— 空港機能의 擴大·充實과 都市環境問題의
同時解決을 圖謀함 —

目 次

I. 計劃의 概要

1. 空港의 現況과 將來의 需要豫測
2. 整備計劃事業의 概要와 騒音問題의 解消
3. 廢棄物 및 廢棄物 處理場의 有效活用
4. 灣岸道路整備
5. 移轉跡地의 有效活用

II. 建設工事의 概要

1. 建設을 困難하게 하고 있는 諸條件
2. 埋立 造成計劃
3. 施行管理上의 特注意事項
4. 事業費

III. 廢棄物專用 揚陸棧橋의 設計

1. 棧橋는 埋立造成的의 生命線
2. 揚陸施設(棧橋)의 設計指針의 決定
3. 말뚝周邊을 補強하여 堅固한 支持基盤을
만듬
4. 設計에 對한 考察과 今後의 對處

IV. 干潟地(淺場) 造成

本事業은 現空港이 갖는 各施設의 機能을 傷하게 하는일 없이 最大限으로 活用하도록 乘降客 및 貨物量의 增加에 隨伴하여 限界에 達하고 있는 離着陸 處理能力의 擴大·充實과 아직까지도 社會問題로 되어 있는 航空機 騒音公害를 事業을 實施함에 의해 다시 深刻化 되는 일 없이 改善을 圖謀함을 目標로 하고 段階的으로 漸次 앞바다로 移行하는 大規模的인 『空港의 앞바다 展開事業』이다.

더구나 앞바다로의 移轉豫定地는 既成의 廢棄物 處分用地와 本事業을 위하여 새로이 그 앞바다에 廢棄物로 造成하는 用地를 合併하여 使用하는 것으로서 廢棄物 處分用地와 廢棄物을 有效 活用하는 斬新하고 劃期的인 事業이다.

以上の 計劃 Menu外에 空港移轉後에 一部 跡地를 環境保全이나 市街地 再開發의 據點으로서 利用한다.

空港 擴張地內에 灣岸道路를 建設하여 都心의 交通滯症을 解消함과 함께 空港으로서의 access를 充實하게 한다.

* 本會會長, 工博, 土木技術士(美國)

擴張地 바다側에는 干潟地를 造成하여 水質 및 底質의 改善을 圖謀하고, 遊魚를 主體로하는 釣場의 整備를 進行시키고 都民이 水邊에 親熱한 空間을 造成한다.

이와같이 大都市가 안고 있는 環境~展開事業의 『計劃』 및 『建設工事 等의 概要』를 紹介함과 함께 『人工的인 改良地盤을 補強하여 廢棄物 專用棧橋의 말뚝基礎의 支持 地盤으로 活用하는 設計』와 『自然으로의 補償措置가 되는 干潟地(淺場)造成』에 關하여 特別한 틀을 미리 準備하기로 하였다.

I. 計劃의 概要

1. 空港의 現況과 將來의 需要豫測

東京國際空港(以下 羽田空港)은 1990年의 實績으로 全國 38國內港과의 사이에 1日 約500便(年間 約 18萬回~旅客의 國內線 需要의 約 50% 同 貨物量~60%)이 離着陸하고 있고, 國內空港의 net work의 中心으로서 重要한 役割을 다하고 있으나 超過密dia로 運行되고 있고 참으로 利用限界에 達하고 있다.

그런데 本 空港은 1971年頃으로 부터 航空機의 離着陸(1978年 5月에 新東京 國際空港[成田]으로 移轉하고 一時的으로는 餘裕가 생겼으나)을 包含하여 年間 16萬回(1日 約 440便)나 이르고 強한 增便의 要請에 應할 수 없는 狀態가 繼續되었다.

그러나 1988年 7月 『앞바다展開』의 第1期 計劃이 新 A滑走路의 竣工으로 完了되고 이곳에 의해 離着陸 處理能力은 18萬회가 되어 地方의 待望인 오래간만에 東京으로의 하늘의 root도 어느정도 對應할 수 있음과 함께 double, triple·track化가 企圖되고 航空 各社間의 競爭促進에 의한 輸送 Service의 向上에 큰 힘이 되고 있다.

더구나 今後의 『앞바다展開』에서는 增大하는 航空輸送需要에 對處하기 위하여 [羽田]에 實現 可能한 範圍에서 最大限의 離着陸 處理能力을 갖게하고 首都圈에 있어서 國內航空의 據點

으로서의 機能을 21世紀(2,010年)를 向하여 確保하려고 하는 것으로서 앞바다展開의 完了後에는 年間 約 23萬回의 離着陸이 可能하게 되어 航空機의 大型化에 맞추어 飛躍으로 輸送力이 強化된다.

計劃航空需要量 豫測

項目	年度	實績值				
		1,990	1,995	2,000	2,005	2,010
年間乘降客數(千人/年)		40,620	54,000	66,000	75,000	85,000
年間貨物取扱量(千t/年)		630	800	990	1,140	1,290
便數 / 日	Jumbo II	—	168	252	292	352
	Jumbo, Air Bus	320	200	198	228	230
	中型 Jet 以下	166	150	116	98	92
	計*	486	518	566	618	674

*便數는 定期便의 離着陸만이고 海上保安廳, 航空局飛行檢査官의 Freight 等은 包含되어 있지 않다.

2. 整備計劃의 事業의 概要와 騒音問題의 解消

1) 앞바다展開의 Schedule

『앞바다 展開事業』의 推進에 있어서는 空港 需要의 動向이나 廢棄物 處理事業의 進陞과의 密接한 關係를 考慮할뿐만 아니라 空港의 中心部에 計劃되어있는 東京灣岸道路의 整備事業과도 整合을 취할 必要가 있고 매우 hard한 Schedule로 되어 있다.

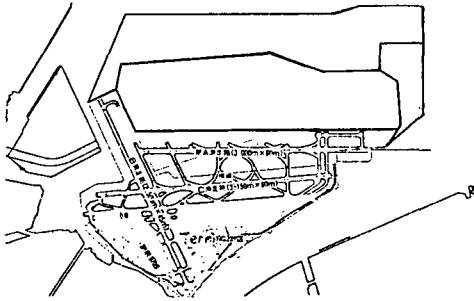
즉, 空港整備·廢棄物處理·道路整備의 3가지 事業의 步調를 맞추어 進行되지 않으면 안되므로 本事業의 展開計劃은 全體의 工程을 3段階로 나누어 行하고 있다.

① 第1期 工事 新 A滑走路 供用

1984年 1月 着工以來 4年의 歲月이 걸려 1988年 2月 29日에 新 A滑走路의 鋪設을 完了하고 3月末에는 全工事의 完成을 보고, 7月 2日에 當初의 豫定과 같이 新 A滑走路의 供用을 開始할 수가 있었다. 이것에 隨伴하여 離着陸 處理能力은 現在보다 2萬回정도, 1日當 50回(25往復)정도 增加할 수 있었다.

第1期 工事は急増하는 輸送需要에 當面 對應을 圖謀하는 것이다.

羽田空港 앞바다展開 基本計劃圖

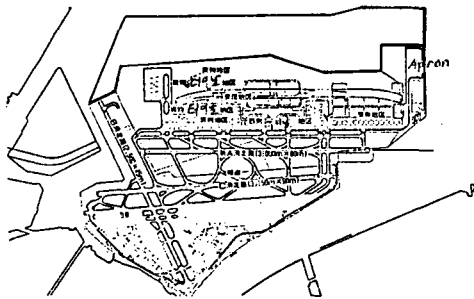


第一期完成圖

② 第2期 工事 西 Terminal施設供用

旅客 Terminal Building, 管制塔 等 空港의 中樞機能이 앞바다로 移轉된다. 또한 道路에 대하여는 灣岸道路(高速道路) 및 이것에 接續되는 環狀 8號線, 鐵道에 대하여는 東京 Mono-rail의 西 Terminal地區로의 延伸, 京兵急行線의 Monorail의 接續, 西側 Terminal供用(1992年の 後半 豫定)에 맞춰 完成 供用할 豫定이다.

第2期는 새로운 Terminal Building이나 access交通의 充實 等 旅客輸送 service의 向上을 圖謀하는 것이다.



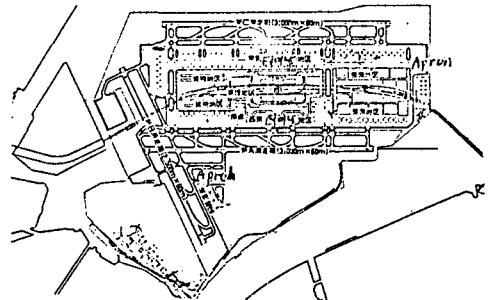
第二期完成圖

③ 第3期 工事 新B, 新C 滑走路 및 東側 Terminal施設供用

앞바다 展開事業이 完成되는 第3期는 그 用地의 大半은 擴張事業으로 埋立한 것이고 新A, 新B 滑走路를 整備한다.

또한, 需要의 動向을 보면서 東側 Terminal 地域에 施設을 展開하여가는 外에 環狀 8號線에서 Terminal로 直結되는 空港 access道路를 供用한다.

第3期の 供用時期는 廢棄物 埋立事業과의 工程調整이 必要하고 今後에도 詳細한 檢討가 要求되나 現在는 1995年頃으로 豫定하고 있다.



第三期完成圖

앞바다展開의 MASTER PLAN

區分	앞바다 展開前	第一期計劃 (1,988年 7月 供用)	計劃完了時 (21世紀初等의 豫定)
滑走路	(B滑走路) 2,500×45m (C滑走路) 3,150×60m	新A滑走路 3,000×60m (B滑走路) 2,500×45m (C滑走路) 3,150×60m	新A滑走路 3,000×60m 新B滑走路 2,500×60m 新C滑走路 3,000×60m
面積	408ha	586ha	約1,100ha
處理能力	約16萬回/年	約18萬回/年	約23萬回/年

2) 騒音問題의 解消에 대하여

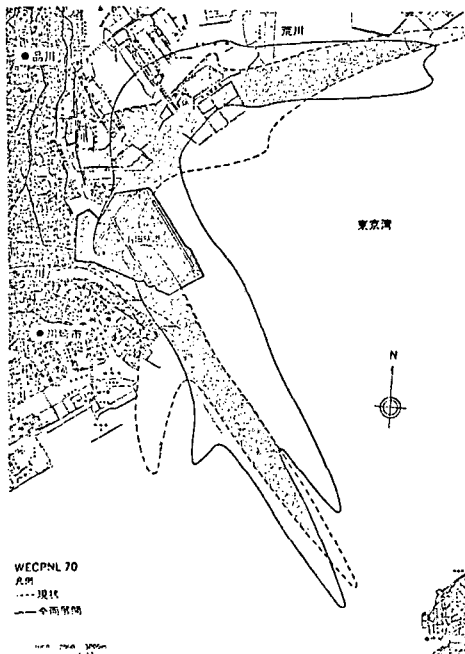
國內外를 不問하고 航空機 騒音이 社會問題化되어 있다. 羽田도 例外가 아니고 지금까지 飛行經路의 改善이나 民家의 騒音工事 等 여러 가지 對策을 行하여 왔으나 拔本的인 解消에 이르고 있지 않기 때문에 改善을 위한 對應에서

두르고 있었다.

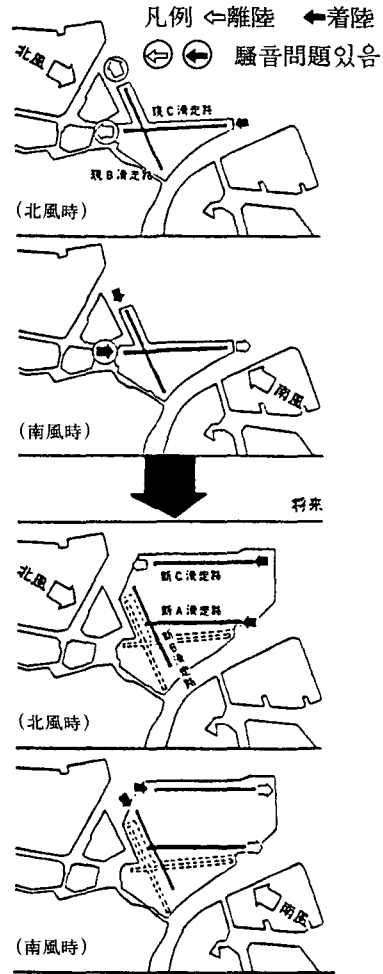
『앞바다展開』에서는 新A滑走路, 新B滑走路, 新C滑走路의 3個의 滑走路를 整備하는 것에 의해 다음 3個의 離着陸을 原則으로 하여 멈추게 할 수 있다.

- ① 新 A滑走路부터 北側으로 離陸
- ② 新 A滑走路부터 北側에서의 着陸
- ③ 新 B滑走路부터 北側으로 離陸

즉, 바다로부터 들어와 바다로 나간다는 運用方式을 100% 採用하는 것으로 騒音問題를 解消한다. 所謂 소리의 앞바다 移轉인 『앞바다展開』가 完成되면 既成 市街地에 대한 航空機 騒音의 影響을 環境基準으로 定해진 一般 住居에 適合한 WECPNL(晝間과 夜間의 1機當의 騒音의 影響은 夜間인 便이 크므로 이 相違를 補正하여 나타내는 評價單位로서 考察되었다. 日本에 있어서도 航空機 騒音의 시끄러움을 나타내는 單位로서 使用되고 있고 시끄러움 指數라는 境遇도 있다.) 70以下로 할 수가 있다.



騒音豫測 Contour



滑走路運用方式

3. 廢棄物 및 廢棄物處理場의 有效活用

羽田바다 現埋立地는 1971년부터 浚渫土砂 등을 主體로하는 土砂處理場으로서 利用하여 왔으나 深刻化되는 廢棄物 處理에 對處하기 위하여 1974年 3월에 廢棄物 處理場으로서 埋立 免許를 取得하였다.

그리고 1975년부터 供用을 始作하여 都內에서 發生하는 建設殘土를 받는 場所로서 利用하여 왔다.

더구나 1991年 3月까지 約 468ha 全部의 埋立

이竣工되었으므로 一部の區域에서는 空港建設工事が進行되어 新滑走路가 整備되었다.

그런데 羽田바다 擴張部の 埋立地는 現埋立地와 합쳐 空港用地를 造成하는 目的으로 1985年 4월에 埋立免許를 取得하여 同年 6월에 護岸 建設工事に 着手.

1990年度까지 浚渫土砂 「中央防波堤 前面 埋立地(其 1地區)를 浚渫土砂의 專用 Stock場으

로서 位置를 잡고 約 900萬m³를 確保해 둔것을 2隻의 8千馬力의 Pump船(1隻은 中繼用)으로 壓送하였다. 其後의 中央防波堤 前面埋立地는 다시 當初의 目的과 같이 廢棄物의 處理場으로서 利用하고 있다.」나 建設殘土를 中心으로 一部 燒却殘灰 等の 一般 廢棄物을 利用하여 1991年 3月末까지 埋立工事を 完了하고 埋立地를 既成하였다.

擴張部埋立地の 計劃 規模와 處分土砂의 概要

位 置		大田區羽田空港二丁目地先	
規	埋 立 面 積	約341ha	
	埋 立 土 量	4千萬m ³	一般廢棄物 211 萬m ³ 上水 Sludge 30 萬m ³ 下水 Sludge 228 萬m ³ 浚渫土 882 萬m ³ 建設殘土 1,179 萬m ³ 埋立用土砂 1,470 萬m ³
	計 劃 地 盤 高	A. P+5, 0m 또는 A. P+5, 5m	
	外 周 護 岸	7,573m	Caisson式護岸 4,608 m 二重鋼矢板式護岸 2,430 m L型 Concrete式護岸 535 m
模	간 막 이 護 岸	二重鋼矢板 또는 自立鋼矢板式護岸	

埋立土砂의 使用工程

年 度		1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
護	岸 工 事							
廢 棄 物 等 埋 立 處 分	一 般 廢 棄 物							
	上 水 Sludge							
	下 水 Sludge							
	浚 渫 土 砂							
	建 設 殘 土							
	埋 立 用 土 砂							

4. 灣岸道路의 整備와 access의 充實
사람과 物品의 輸送面에서 점점 重要해지는

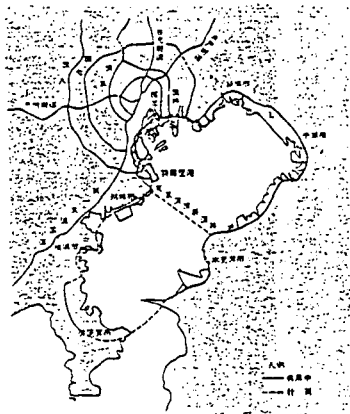
自動車 交通에 있어 道路網의 整備는 緊急課題로 되어 있다.

現在 東京灣岸에서는 神奈川, 東京, 千葉을 連結하는 大動脈으로서 灣岸道路(道路幅員 ~100m)의 整備가 進行되고 있다. 東京 臨海部에서는 이미 供用中인 千葉에서 大井埠頭까지의 灣岸道路를 川崎 浮島町 地先 埋立地까지 延伸할 事業計劃이 決定되어 있다.

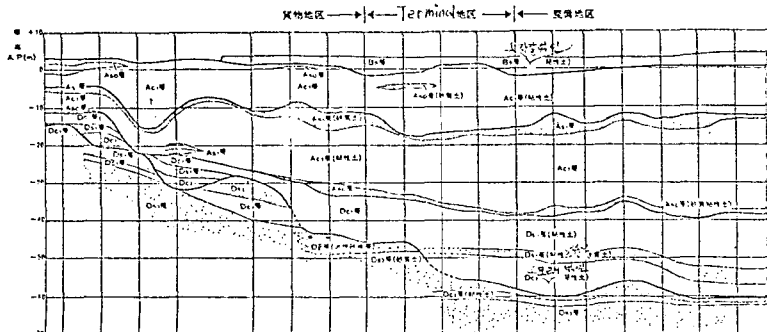
羽田앞바다의 埋立地는 그 道路用地로서도 利用할 計劃이고 灣岸道路는 空港 Terminal로서 地區를 縱斷하는 路線을 둘러싸고 있으므로 空港으로의 access道路로서 큰 威力을 發揮하게 된다.

또한 空港 및 灣岸에서 일하는 사람들의 通勤root로서 smooth한 흐름을 誘導하여 時間의 短縮, 都心의 停滯에 쓸모가 있다.

다시 現在 着工中인 東京灣 橫斷道路와 接續되는 것에 의해 東京灣의 各 港灣 및 臨海部の 連絡道路로서 큰 役割을 다하게 된다.



灣岸道路計劃配置圖



地層斷面圖

5. 移轉跡地의 有效活用

空港을 앞바다로 移轉함에 의하여 現在의 空港用地의 一部, 約 200ha가 移轉跡地로서 利用可能하게 된다. 이 大地를 大規模的인 綠地의 廣場이나 recreation의 場所로서 또한 周邊의 住工混在地域을 包含한 洞內를 만드는 核으로서 有效하게 利用할 수가 있다.

東京都에서는 이 臨海部に 남겨진 貴重한 空間을 21世紀를 向하여 再生하기 위하여 地元區, 國家와 調整을 圖謀하면서 慎重하게 利用計劃을 檢討하고 있다.

II. 建設工事의 概要

1. 建設을 困難하게 하고 있는 諸條件

1) 軟弱地盤

本 空港의 擴張 豫定地의 周邊海域의 在來地盤(海底面)은 -10m부터 最大로서 -19m나 되는 大水深으로 그곳부터 始作하는 地層은 沖積世 以後의 層과 洪積世에 推積한 層과 크게 2分되나 어느것이나 極軟弱(表層에서 30m 以內의 N値는 平均 1)이다. 50以上の 地盤은, 平均 -60m, 最大 -65m(다음의 地層斷面圖는 現處理場의 護岸法線의 것이고 擴張部는 平均的으로 10m정도 깊다)로 깊다.

특히 海底面의 地層은 周邊의 埋立地를 造成하기 위하여 埋立用의 土砂를 浚渫 採取한 後에 推積한 진흙탕狀의 浮遊土로 構成되어 있기 때문에 多量으로 水分을 包含하고 있고 매우 軟弱하다. 더구나 層厚가 場所에 따라 크게 變化되

어 있기 때문에 信賴하기 힘든 地層으로 높은 精度가 要求되는 空港施設의 建設에는 適合하지 않다.

이때문에 護岸建設에서는 一部를 除外하고 Sand · Compaction · Pile工法の 80%改良을 實施하고 擴張部 陸域部の 全域에는 Vertical drain工法(Paper drain工法, Pack Drain工法)을 使用하고 大型의 建設機械가 作業을 行하는 場所나 構造物의 基礎로서 特히 地盤의 強度를 必要로 하는 部分에서는 深層混合處理工法, 生石灰工法 等を 使用하였다.

2) 空港管制·外

本 施工個所는 全域 +47.5m의 水平表面이 一部를 進入表面 및 轉移表面의 高度制限의 規制가 있다.

또한 approach는 原則적으로 海上으로부터 뿐이고 陸上으로부터의 入場은 禁止되어 있다. 다시 夜間施工은 23時부터 5時間 30분의 短時間이다.

그리고 外周護岸 約 7,600m의 建設期間은 1985년부터 1990年の 不過 6個年間の 短期間이다.

3) 激甚한 地盤沈下量

本工事의 下部工의 施工順序는 表層部の 軟弱한 浮泥土(約 1m정도)를 撤去하고 數砂 1m를 施工後, -30m까지 Sand compaction pile工法の 地盤改良을 實施하는 것이다.

이때문에 地盤 沈下量을 -30m까지의 위의 地層은 強制的으로 改良을 實施하고 있기 때문에 沈下가 없다고 設定하고 이것 以下の 冲積層 및 洪積層의 沈下量을 計算해본바 50年間に 最大 3m가 沈下한다고 計算結果를 얻었다.

이때문에 Caisson의 側壁의 두께 및 間隔 그리고 二重網矢板 護岸의 矢板의 間隔은 페라렛트를 3m 高揚시키는 것을 前提로 決定하였다.

2. 埋立 造成計劃

海洋汚染防止法은 廢棄物 處理場에 投入하는 廢棄物을 外海에 流出시키지 않는것이 「安定型」, 海水가 流出시키지 않는것이 「管理型」, 汚

水를 外海에 浸透시키지 않는것이 「有害型」이라고 構造物을 使用 分類하도록 規程하고 있다.

이때문에 埋立工事は 各 block모두 우선 外周護岸 및 間막이護岸 等の 築造工事を 施工하고 이들의 諸施設에 의해 外海와 埋立區域과를 締切하여 埋立에 着手하기로 하였다.

더구나 埋立土砂를 運搬하는 土運船의 航路를 確保하기 위하여 外周護岸 等は 埋立의 進陟에 맞춰 一部區域을 最小限으로 開口狀態로 해두고 必要하지 않게된 時點에 締切하는 方法을 導入하기로 하였다. 그런데 外周護岸 等に 의한 締切工事は 우선 最初에 ① block을 施工하고 繼續하여 ②, ③, ⑤ block과 같이 차례차례 行하고 ④ block을 施工하는 工程으로 하였다.

더구나 一般廢棄物은 外周護岸 等に 의해 埋立區域과 海域과를 完全히 遮斷하기 때문에 護岸背後에 山砂 等に 의해 뒷채움을 行함과 함께 防水 sheet 等に 의한 不透水層을 形成한 後 埋立한다. 또한 埋立內의 余水는 簡易 發氣裝置 等の 水處理施設을 設置하여 水質을 淨化하여 海域으로 pump 放流한다. 그리고 定期的으로 監視하여 水質이 目標로 하는 濃度 以上으로 될 憂慮가 있을 境遇에는 下水施設에 放流하는 管理體制를 취하기로 하였다.

其他의 block의 上下水 sludge, 浚渫土, 建設殘土 및 購入砂에 의한 埋立에 대하여는 다음의 일을 留意하여 行하였다.

① 一部 開口狀態에 있는 block에 있어서는 汚濁擴散 防止膜을 展開하여 海域으로의 水質汚濁의 擴散防止를 圖謀함.

② 護岸의 締切이 完了된 後에는 殘留海水의 흐름에 대한 余水對策을 行한다. 余水의 水質은 定期的으로 監視하기로 하고 目標水質을 滿足시키는 期間은 上澄水를 pump로 揚水하여 海域으로 放流한다. 埋立이 進行되어 目標水質의 維持가 不可能하게 되었을 경우에는 余水處理施設에 의해 水質을 淨化하여 海域으로 放出한다.

③ 上下水 sludge에 대하여는 浚渫土, 建設殘土, 埋立用土砂에 의하여 陸化시킨後 그 위에

埋立處分을 行한다.

3. 埋立護岸의 構造斷面의 決定

護岸의 斷面選定에 있어서는 學識經驗者, 運輸省 및 東京都의 技術幹部 職員 등이 委員會를 構成하여 決定하였다.

基本的인 思考方式은,

○本護岸建設의 目的은 조금이라도 많은 廢棄物을 利用하는 것이다. 이때문에 mound가 必要最小限이 되는 構造物, 例를들면 二重鋼管矢板工法 등을 採用하는 것이 best이다. 그러나 支持地盤이 깊기때문에 말뚝깊이가 平均 70m 前後가 必要하게 되고 더구나 負摩擦對策으로서 슬립레이어 컴펜드말뚝을 採用하는 것이 되므로 高度制限의 關係에서 最低라도 2회의 現場 鎔接이 必要하게되고 顯著하게 工期가 길어진다.

○廢棄物의 埋立護岸이고 護岸의 崩壞 等에 의해 廢棄物이 外海로 流出되어 汚染되는 것은 絶대로 容許할 수 없으므로 構造上 安全 side에 設計條件을 設定한다.

○많은 關係者廳이나 地方自治體가 輻輳하여 事業을 實施하고 있고 Time schedule의 嚴守는 무엇보다도 優先한다. 이때문에 設計條件, 施工條件 等を 充分히 檢討한 結果, 二重鋼矢板式, Concrete Caisson式 및 L型 Concrete式的 3가지의 斷面으로 決定하였다. 더구나 L型式을 除外한 모든 護岸의 下部工은 Sand Compaction pile工法의 80% 改良을 施工하였다.

以上과 같이 安全 side의 設計, 施工에 注意하고 있기 때문에 經濟性이나 目的에서 생각해보면 약간 疑問이 남는 構造로 되었다.

4. 施工管理上의 特注意事項

埋立護岸의 構造斷面에서 記述한바와같이 護岸의 構造는 安全 side로 決定하고 있기 때문에 施工管理上의 課題가 적다고 생각하고 있었다.

豫定된 課題는 極軟弱地盤이기 때문에 敷砂의 깊이 먹어들어가는 量이나 地盤改良의 모래의 割増率 等の 設定이었다.

이때문에,

○公의機關에 의한 모래의 量의 檢收를 特記仕様書로 義務를 주고 工事結果와의 差異에 의해 設計變更하는 것으로 對應하기로 하였다.

○施工中에서의 沈下를 想定하여 各工種의 終了時에 만들어진 型의 檢査를 行하여 記錄의 確認에 努力하였다.

○上部工(Caisson의 設置高나 二重鋼矢板의 天端高)는 完成型의 確認時點에서 設計대로이면 좋다고 하고 뒷채움모래 等은 沈下가 進行되고 있는 本體의 높이와 一致시키는 것으로 管理하였다.

그러나 豫想外의 現象으로서 地盤改良한 地層(平均 두께 20m「-10m~30m」)가 Caisson을 設置하는 時點에서 平均 50cm정도의 急激한 沈下를 일으킨 일이다. 이 沈下를 設置後 數日間에 끝나기는 했으나 當初에는 0의 豫定이었기 때문에 對應에 苦慮하였다.

5. 建設事業費에 對하여

施設名	規模	單位 (百萬元)	百萬元 /m	備考
護岸建設費	7,573m	206,017	27,2	實績
淺場造成費	約6km	20,000	3,3	計劃豫算額

Ⅲ. 廢棄物 專用揚陸의 設計에 對하여

— 棧橋의 말뚝基礎의 支持地盤으로서 地盤改良層을 活用한다—

1. 棧橋는 埋立地造成의 生命線

本工事を 計劃한 重要한 目的의 한가지는 建設殘土를 主體로 하는 廢棄物 處理場의 確保이다. 이때문에 埋立地 約 341ha를 造成함에 必要한 用材 約 4천만m³중 80%를 廢棄物로 맞췄다.

輸送手段은 約 35%에 該當하는 處理濟의 廢棄物 및 浚渫土는 Belt Conveyor나 pump船으로 나머지는 50cm 前後에 Concrete塊가 多數混入되어 있고 바지船으로, 運搬 棧敷에서 양육하기로 하였다.

이 棧橋의 말뚝基礎의 支持基盤에 sand compaction pile工法の 80% 改良層을 補強하여 活用, 天然地盤에 依持하는 것에 比해 大幅的인 工期의 短縮과 35% 以上이나 經濟的인 施工에 成功했으므로 設計를 決定하는 經緯 및 工事成果 等を 報告한다.

2. 揚陸施設(棧橋)의 設計指針의 決定

1) 構造 Type의 選定

揚陸施設은 急速 二重鋼甲板 護岸前面에 配置가 決定되었으므로 護岸本體를 -4m岸壁(바지船의 底開했을 時의 吃水)으로 利用할 수 없는 가를 檢討하였으나 消波工의 基礎를 円弧미끄러짐 및 受動土壓 等으로 構造計算에 計上했다.

이때문에 構造上 基礎가 障害가 되지않는 棧橋와 Caisson을 比較檢討하였으나 撤去(現狀復舊가 埋立許可條件)가 容易한 棧橋構造로 決定하였다.

2) 基礎말뚝工法の 比較檢討

棧橋工事의 Critical pas는 下部工事이고 支持말뚝, 摩擦말뚝 및 모래말뚝 本體를 支持地盤으로 하여 利用하는 3工法에 대하여 檢討하였다.

① 工期의 嚴守는 絕對條件

道路示方書는 砂層에서의 橋梁 等の 말뚝基礎의 支持地盤은 N值 30以上을 採擇基準으로 하고 있다. 이 基準으로 本體를 設計하면 -55m前後에 確認되는 砂礫層까지 打設하는 支持말뚝이 된다. 그러나 負摩擦對策으로서 슬립레이아 콤파운드말뚝을 採用하므로 말뚝의 形狀 및 高度制限으로 2回以上の 現場鎔接이 必要하게 되므로 工期는 顯著하게 길어지게 된다.

本 事業에서는 完成後의 施設이 best라도 뒤의 工程에 모순을 다른 部分에 돌리거나 負擔시키는 設計手法는 可能한 限 Cut하여 왔다.

② 工程은 不安은 없으나 全幅的인 信賴는?

本 施設의 完成後에는 大型重機가 常時 full稼動(振動)을 繼續하기 때문에 摩擦말뚝은 全幅的인 信賴를 줄수없고 말뚝길이는 支持말뚝과 大差가 없이 merit가 없다고 斷念.

③ Data로 保證된 모래말뚝의 強度

地盤改良工事의 報告書에 의하면 모래말뚝 本體의 平均 N值는 17로 最低는 15이다.

이것에 基礎말뚝을 打設했다고 하고 말뚝의 支持力을 N值로 計算하던 貫入長~12m, 말뚝先端 閉塞率~80%以上이면 目標值를 確保할 수 있는 것을 判明하였다. 그런데 棧橋의 供用期間은 1989年 4月부터 5年間이다. 대담한 試圖이나 「構造物이 이 期間의 推定沈下量 120cm를 耐久할 수 있으면 示方書에 따를 必要는 없다」고 設計指針을 決定하였다.

3. 말뚝周邊을 補強하여 堅固한 支持地盤을 만든다.

1) 豫期할 수 없었던 모래말뚝의 強度의 흐트러짐

本 設計는 地盤改良層 全體와 모래말뚝 本體의 強度에 期待하기 때문에 精誠들인 試驗말뚝을 計劃하였다. 준비한 말뚝은 閉塞을 促進하기 위하여 말뚝의 先端에 十字 Cross 및 50% 閉塞된 鐵板을 鎔接 붙임한것 各 10個, 結果는 十字~2個, 50%~5個밖에 所要의 強度가 確認되지 않았다.

原因 追求의 boring을 12個所에서 行하였으나 모래말뚝 中心의 平均 N值는 14, 最小는 3, 最大 22로 흐트러짐이 눈에 띄었다. 더구나 坑打時 強度가 나오지 않는 十字는 멈추고 3日後에, 50%는 海水를 注入後에 再打하는 等の 觀測도 行하였다. 以上에서 地盤의 特性을 下記와 같이 생각하였다.

모래말뚝은 設計個所에서 移動되어 있는 것이었다.

모래말뚝간의 맞물림은 弱하고 말뚝은 獨立傾向을 볼 수 있다.

말뚝은 50%以上 閉塞하지 않으면 閉塞은 期待하기 힘들다.

2) 補強工事의 設計仕様 等の 決定

모래말뚝의 強度分布의 흐트러짐의 原因의 하나는 「改良前의 地盤은 極軟弱이고 모래말뚝을 連續하여 打設할 時 排除된 흙이 上方이나 橫側으로 土壓으로 作用하고 모래말뚝을 移動시키거

나 하고 均一한 改良을 圖謀할 수 없었다。」는 것이 充分히 豫想된다. 이때문에 말뚝基礎를 確實히 N值 15以上の 地盤에 打設함에는 打設豫定 個所의 모래말뚝의 強化擴大 즉, 새로운 모래말뚝을 모래말뚝 사이에 打設하여 粘性土를 排除할 補強工事が 必要하다고 結論지었다.

그런데 마이야호프는 「말뚝을 모래지반中에 打設하면 말뚝下方의 地盤에 말뚝徑의 2倍前後의 塑性領域이 發生한다」고 말하고 있으나 地盤 構成의 흐트러짐이나 모래의 壓入率 等の 다른 均一한 補強을 施工할 수 없다고 생각하고

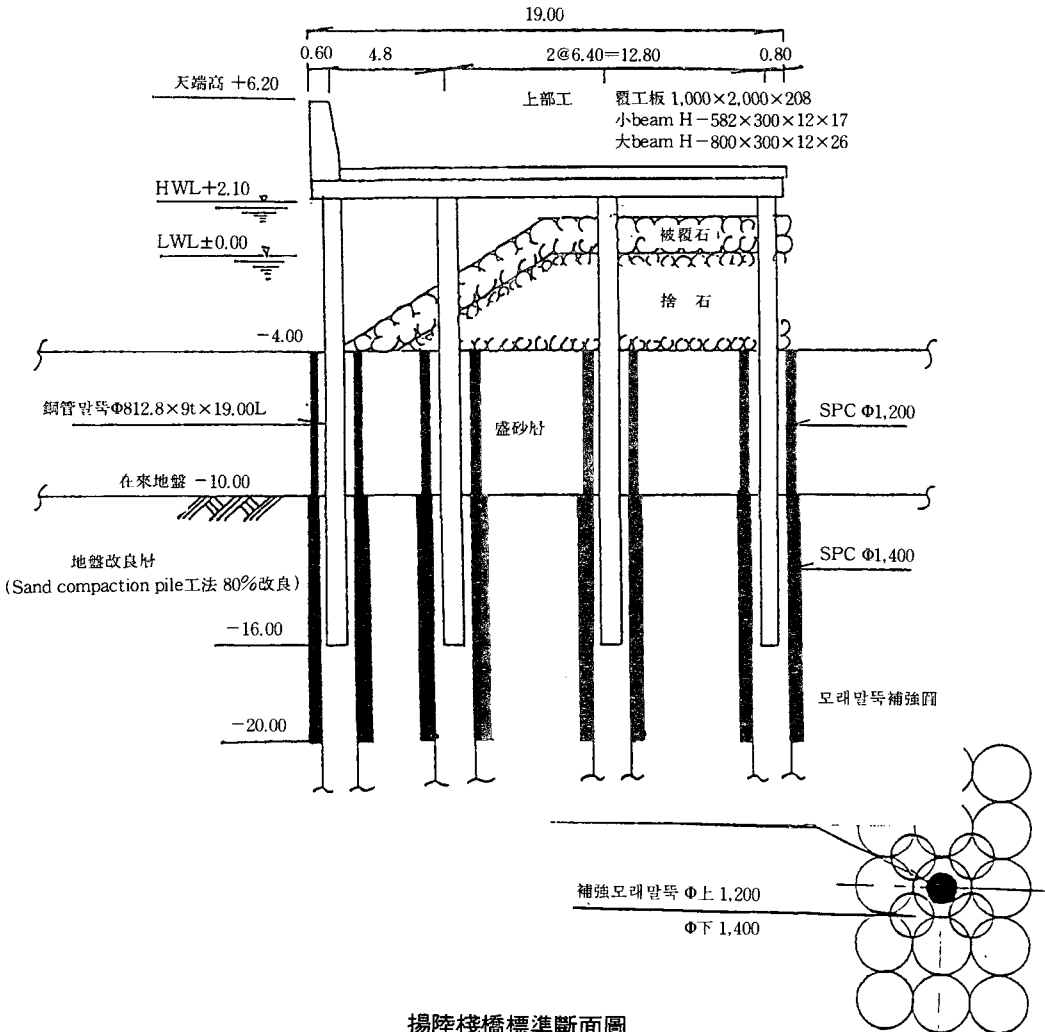
安全 side에 5倍로 하였다.

3) 補強工事は 豫期한 成果를 얻다.

補強工事後의 모래말뚝 中心의 平均強度는 施工直後인데도 不拘하고 N值 22로서 事前보다 8 이나 強化되어 있었다.

더구나 時間의 經過로 增強을 期待할 수 있기 때문에 工事を 着手하였다. 더구나 準備한 鋼管 말뚝은 모두를 閉塞말뚝(80% 閉塞)으로 하였다.

結果는 모든 말뚝에서 所要의 3倍以上의 動的 極限 支持力이 確認되었다.



揚陸棧橋標準斷面圖

4. 設計에 대한 考察과 今後의 方法

今回の設計 Theme는 「所要의 強度가 있는 면 地盤에서 沈下가 進行되고 있어도 構造物의 支持地盤으로서 活用할 수 있다」였다. 그러나 Start인 試驗말뚝의 段階에서 大前提는 부스러져 버렸다. 그러나 停滯는 용서되지 않으므로 筆者는 一連의 試驗結果에서 「均一하게는 改良되어 있지는 않으나 80% 強制置換濟의 地盤」으로 診斷하여 補強策을 찾아냈다.

그런데 某社는 우리社와 서로 이웃이 되어 棧橋를 建設하므로 當初는 同一步調이었다. 그러나 試驗말뚝의 結果를 알고 우리가 工區에 없는 -30~35m사이의 N值 15~17정도의 砂層을 支持地盤으로, 基礎말뚝은 閉塞을 재촉하는 處理를 전혀 實施하지 않은것을 使用하는 工法變更을 行하였다. 結果는 60% 弱박에 合格되지 않았다고 들었다. 한편 當方의 棧橋는 供用開始부터 3年半이 經過되었으나 順調로이 稼動되고 있고 Theme는 解決한 것이 된다.

이 兩者의 差異는 試驗말뚝을 통하여 改良地盤의 現狀 및 閉塞말뚝의 效果를 把握했는가 아닌가의 差異가 나온것이라고 생각된다.

더구나 副産物이나 data만으로 밖에 完成型을 確認할 수 없는 工種은 第3者를 납득시키는 管理體制가 必要하고 例를들면 地盤改良工事は 公的機關에 의한 事前의 모래량의 檢收이다. 이러한 管理下에서 SCP로 對象地盤全層을 甑고 改良을 行하면 많은 永久構造物의 支持地盤으로서 活用할 수 있다고 確信하였다.

IV. 干渴地(淺場)造成에 대하여

環境廳은 1990年の 委託業務~바람직한 海域環境의 保全과 再生을 向하여 ~로 事業者가 不可避한 事情으로 埋立을 行할 때에는 事業者의 責任으로 埋立地와 同規模의 自然을 復元하는 Mitigation의 原則(自然으로의 補償)을 提言하고 있다.

그런데 東京都는 1988年度부터 羽田空港 앞 바다 護岸前面에 「移轉計劃」에 따른 빼앗겨진

河川 等の 良好한 干渴地를 造成할 小規模이면서 Mitigation의 原則을 先取한 事業을 實施하여 오고 있어 內容 等を 紹介한다.

1. 干渴造成的의 目的과 構造斷面·其他

東京港은 東京港의 深奥部에 있고 多數의 大規模 河川이 流入되고 있기 때문에 無盡藏의 窒素나 燐 等の 榮養鹽類가 運搬되어 오기 때문에 水域은 富榮養化되어 있고 特히 하계에는 赤潮의 發生 等を 誘發하여 魚貝류에 多大한 被害를 미치고 있다.

또한 羽田 앞 먼바다는 水深이 -10~-19m로 깊고 진흙탕 등이 두껍고 (平均~1m前後) 推積되어 있기 때문에 底質土에서 溶出하는 COD (化學的 酸素消費量)가 海水中の 溶存酸素를 消費하기 때문에 夏季는 海底가까이의 層은 無酸素狀態가 되고 魚貝類의 生息에는 適合하지 않는 狀態가 되고 靑潮의 發生의 誘發原因도 되고 있어 周邊一體의 水域環境은 바람직한 狀態와는 더욱더 멀다.

새로이 앞바다 展開事業에 의해 多摩川 等の 良質의 「干渴」(潮의 干滿의 水位差에 의해 海水가 流出入하여 그때에 濾過 및 有機物의 分解 等の 役割을 다하고 水質의 淨化를 進行시킨다)가 빼앗겨지므로 水質의 惡化의 進行이 念慮된다.

이때문에 東京灣에서는 漁業補償(1967년에 漁業補償을 끝마치고 있는 것에서 「漁業權을 가진 漁業者는 없다」)의 目的은 아니고 事業을 實施함에 의한 自然으로의 補償措置(水質, 底質의 改善을 圖謀하는 것을 目的)立場에서 埋立地의 앞바다에 干渴을 造成하기로 決定하였다.

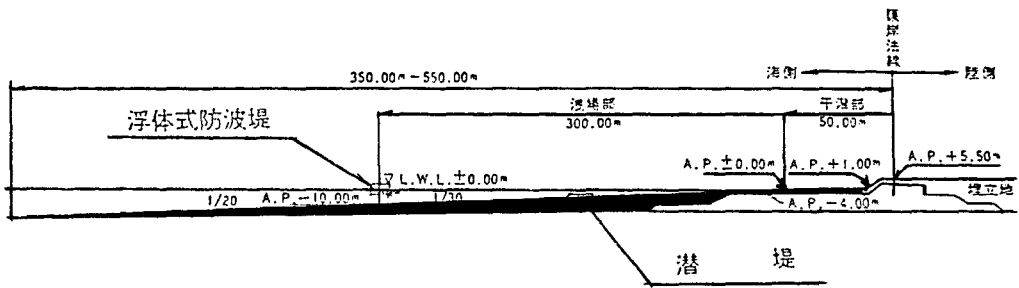
더구나 干渴造成工事は 1988年度부터 着工하여 現在로 繼續 整備中에 있으나 그 構造斷面은 干渴幅~50m, 海邊勾配~1:30으로 最大水深 -19m까지 繼續된다. 그리고 施工規模는 延長~約 6km(護岸 總延長의 約 80%에 該當된다.) 面積 ~約 250ha로 良質인 浚渫上(-4m以下淺~地盤改良 等에서의 盛土砂나 航路浚渫 等에 의해 發生한 砂分이 70%以上의 土砂, -4m以上深~其他의 浚渫土砂)로 造成되어 있다.

그런데 浚渫土砂는 海洋汚染防止法에 의하면 埋立場所 等に 投入하면 廢棄物 그러나 事業者의 充分한 管理下에서 養邊 等に 使用하면 建設用材로 하고 있고 干潟地造成工事は 廢棄物이 되는 浚渫土砂를 有效하게 活用하여 環境保全에 寄與하고 더구나 貴重한 處分場의 延命化도 圖謀하는 多目的인 優良事業이다.

더구나 構造物로서 潛堤 「(護岸의 앞바다 170m에 設置)」海中에서의 흙막이工으로서 使

用하여 水深을 얕게함에 의해 碎破를 促進하여 背後의 波浪을 減衰시킴과 함께 모래의 推積을 圖謀한다」나 浮體式 防波堤 「(護岸의 앞바다 300m)干潟의 保守와 漁礁를 兼한다」를 設置하고 있다.

이 干潟(淺場)造成에 의해 廣範圍한 진흙탕은 覆砂되어 水質 및 底質이 또한 干潟에 의해 水質의 淨化가 圖謀되어 있다.



干潟地(淺場)의 標準斷面

2. 環境保全에 最善을 다한다.

앞바다 展開事業을 實施하기 위한 前提條件으로서 計劃, 事業 및 埋立 Assessment와 內容을 달리하는 3制度의 Check를 받는다.

그리고 앞바다展開事業의 工事中 및 完成後에 있어서도 現狀의 環境에 큰 Impact를 주는 일 없이 要求基準內에서 事業의 實施가 可能하다고 豫測, 評價되었을때 비로서 認可되게 構成되어 있다.

이 環境 Assessment의 豫測, 評價內容은 大氣汚染, 水質汚濁, 騒音, 振動, 水性生物 等 10項目 以上의 多岐에 걸치는 것이다.

그리고 評價書에 記述한 內容에 의해 工事의 影響을 最小限으로 하도록 努力하는 것이다.

앞바다展開事業에서의 工事中의 具體的인 Check Point는

- 事業實施中の 環境影響을 監視하기 위하여 每日 周邊海域의 흐림을 測定한다.

- 水質(흐림)外에 每月 周邊海域의 水性生物(프랑크톤, 底生生物 等), 魚貝類調查, 內陸部의 大氣調査 等을 行한다.

이들 調査結果에 影響이 나왔을 境遇에는 工法의 變更이나 工事規模의 縮小를 行하고 이렇게 하여도 顯著한 效果가 나타나지 않을때는 工事中止를 行하는 等の 매우 嚴格한 것이나 多幸한 일은 1985年 着工부터 1990年 12月의 護岸締切 사이까지 한번도 이러한 緊急對應은 必要없었다.

埋立工事工程表

区 分	年度	1. 984				1. 985				1. 986				1. 987				1. 988				1. 989				1. 990			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
第1 Block	L型 Caisson 掘工	基礎工																											
		本体工																											
		上部工																											
		消波工																											
	Caisson	地盤改良工																											
		基礎工																											
		本体工																											
		上部工																											
	区切開 埋立工 170万㎡	消波工																											
		地盤改良工																											
		基礎工																											
		本体工																											
第2 Block	Caisson	地盤改良工																											
		基礎工																											
		本体工																											
		上部工																											
第3 Block	Caisson	消波工																											
		地盤改良工																											
		基礎工																											
		本体工																											
第4 Block	埋立 工 130万㎡	上部工																											
		消波工																											
		地盤改良工																											
		基礎工																											
	中央 坎막이	本体工																											
		埋立工																											
		深埋土																											
		打設土																											
	第5 Block	二 重 坎막이	埋立工																										
			深埋土																										
			打設土																										
			埋立用土砂																										
第6 Block	二 重 坎막이	地盤改良工																											
		基礎工																											
		本体工																											
		上部工																											
第7 Block	二 重 坎막이	消波工																											
		地盤改良工																											
		基礎工																											
		本体工																											

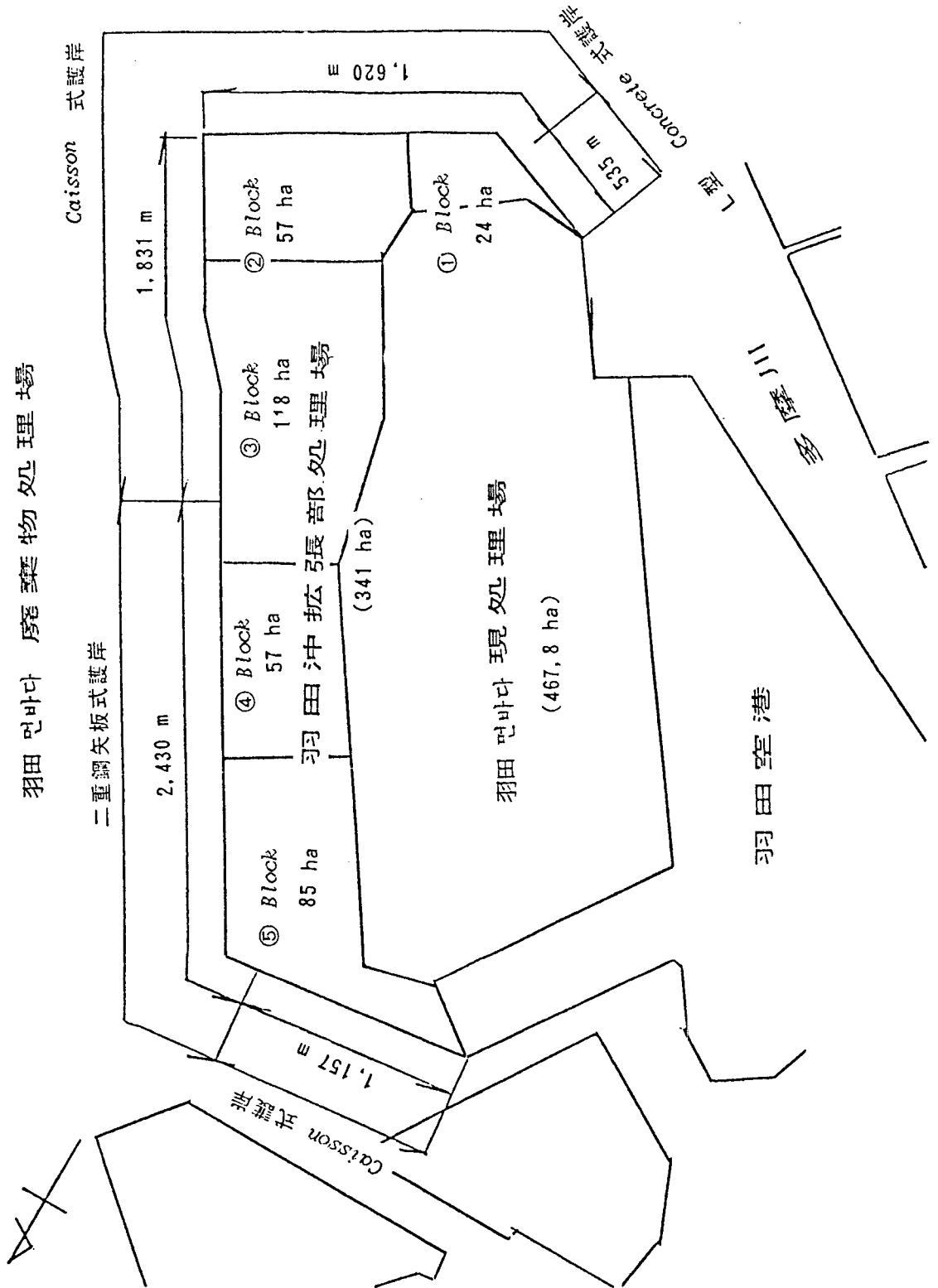
區 分	竣工年次		1, 984				1, 985				1, 986				1, 987				1, 988				1, 989				1, 990			
	工程		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	種別	種別																												
第 4 Block	埋立 基礎	上部工																												
		消波工																												
	埋立工 503 万㎡	浚渫土																												
		埋設積土																												
第 5 Block	二 層 埋 立 基礎	地盤改良工																												
		基礎工																												
		本体工																												
		上部工																												
		消波工																												
	Caisson	地盤改良工																												
		基礎工																												
		本体工																												
		上部工																												
		消波工																												
	北側 칸막이	地盤改良工																												
		基礎工																												
		本体工																												
	埋立工 118 万㎡	浚渫土																												
		埋設積土																												
埋立用土砂																														

註：本計劃은 1983년에 作成되어 1984年은 埋立免許取得이 늦어졌기 때문에 事業實施를 할 수 없었으나 1985年 以後는 7年間에 建設할 豫定을 6年間으로 短縮하여 行하였으나 上記한 工程表대로 實施하여 無事히 完了하였다.

註：1~4~6月, 2~7~9月, 3~10~12月, 4~1~3月

護岸形式別配置平面図

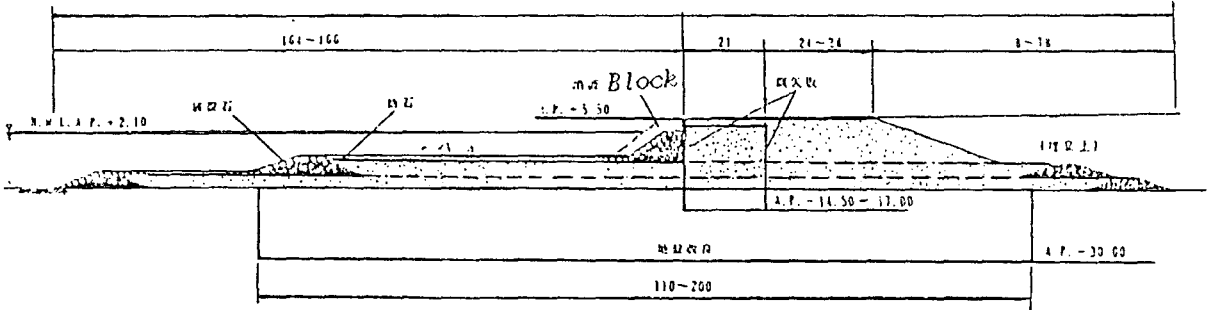
羽田 現 廢棄物處理場



護岸標準断面図

二重鋼矢板式護岸

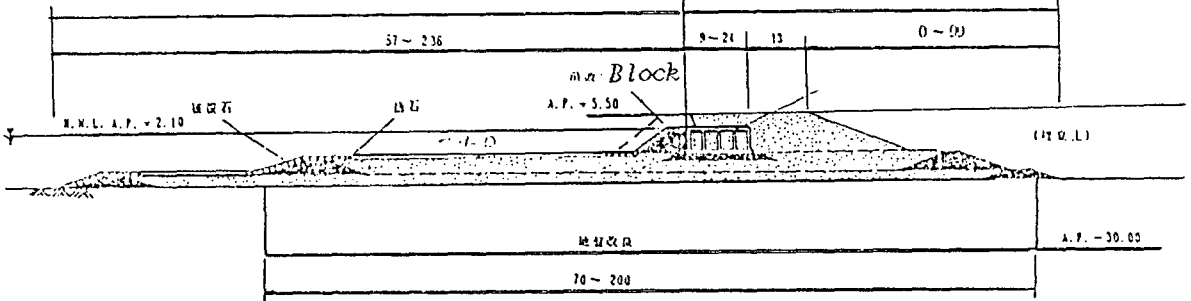
219 ~ 291 m 埋立法線



Caisson 式護岸

90 ~ 332 m

埋立法線



L型 Concrete 式護岸

40 ~ 65 m

埋立法線

