

V-16

白鳥大橋築島工における石炭灰スラリーの利用について

北海道開発局室蘭開発建設部
 同上
 北海道開発局開発土木研究所 正員

渡辺 勲
 三浦 智
 山崎 達哉

1. まえがき

白鳥新道は、図-1に示す延長3.8kmの自動車専用道路であり、国道36号・37号および北海道縦貫自動車道を結ぶ幹線道路網を形成して、室蘭市の都市機能の有機的一体化を図ることを目的としている。白鳥新道の主橋梁である白鳥大橋は海上部に架かる中央径間720m、橋長1,380mの3径間2ヒンジ補剛吊橋である。

築島工は、図-2に示すように海上部に施工される主塔(3P・4P)の工事作業基地として築かれる人工島であり、従来の築島工法は、鋼矢板(或いは鋼管矢板)等で仮締切を施工し、中詰材料に土砂を投入し、築造するのが一般的な工法である。

本橋のように築島部の水深が深い現場条件では、中詰材料に土砂を使用すると仮締切工等が大規模となり不経済となる。このような事から種々比較検討の結果、白鳥大橋では築島中詰材料に固化後自立し壁に側圧を及ぼさない石炭灰スラリーを使用することとした。本論文では、石炭灰スラリーの配合検討、現場施工法、及び品質管理等について報告するものである。

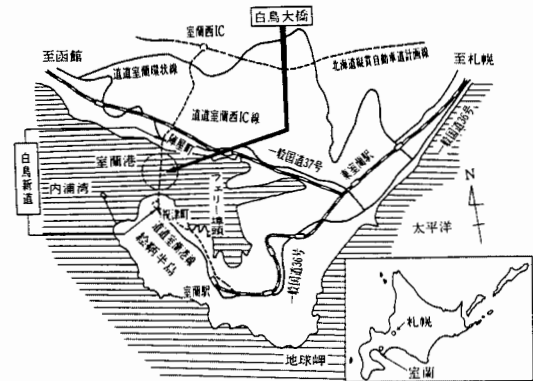


図-1 架橋位置図

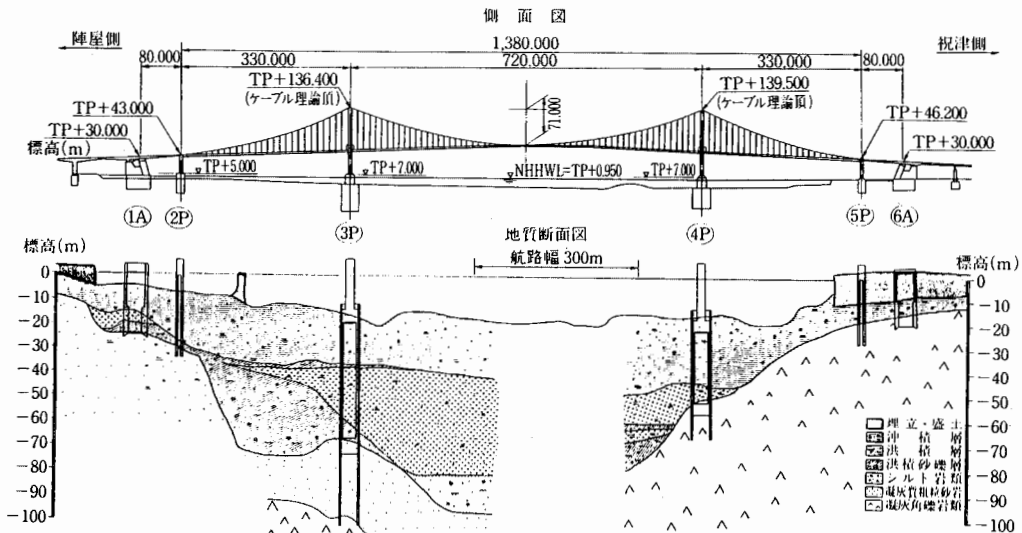


図-2 白鳥大橋一般側面図および地層構成図

Coal Ashes Slurry in Hakucho Bay Bridge
 by Isao WATANABE, Satoshi MIURA and Tatuya YAMAZAKI

2. 築島工法の概要

主塔部の築島断面図を図-3に示す。

築島工の施工手順は最初に海底地盤の軟弱な表層部をサンドコンパクションパイル工法により地盤改良を行う、下記にその目的を示す。

- ① 海底軟弱地盤の圧密沈下の促進。
- ② 築島全体のすべり崩壊防止のため、既設地盤のせん断強度の増加。
- ③ 鋼管矢板締切の横方向地盤反力係数の改良。

地盤改良後、海上部において鋼管矢板を打込むためガイドリングを施工し、杭打船により築島の外殻を形成する鋼管矢板を海上打設により構築し、その後築島中詰材料（石炭灰スラリー）により中詰を行う。

石炭灰スラリーは、火力発電所より排出される石炭の燃焼屑である石炭灰（新生灰）と、火山灰を絶乾重量で7：3の比率で混合し、それに4～5%のセメントと築島内部の海水を使用して混練し、スラリー状にした混合物である。

築島中詰工（石炭灰スラリー）の仮設備全体配置図を図-4に示す。

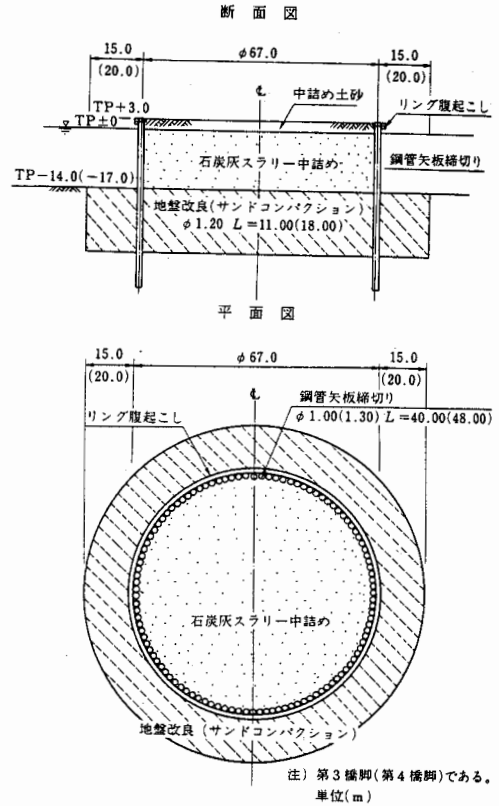


図-3 築島工

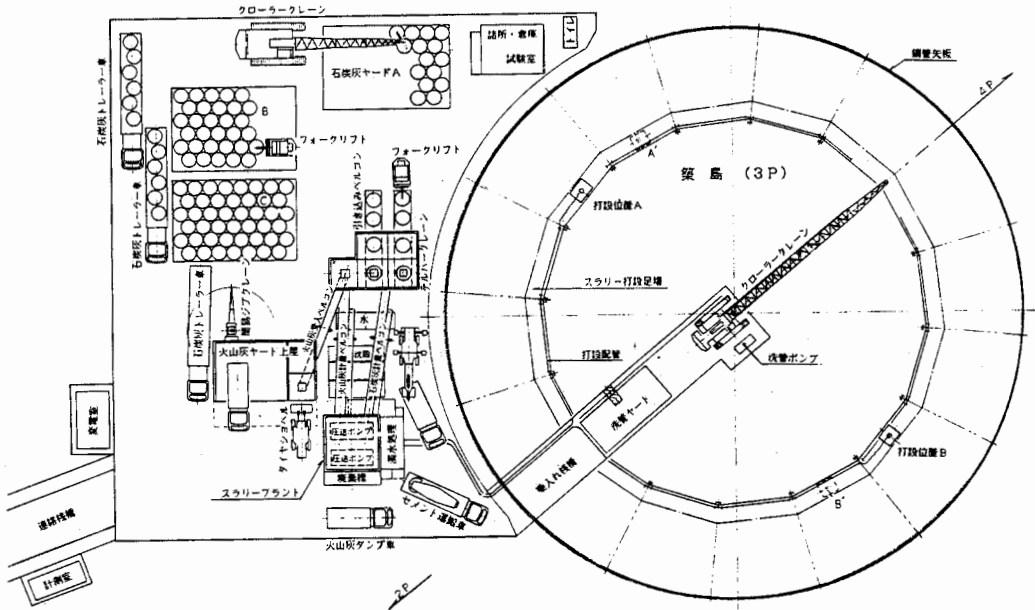


図-4 仮設備全体配置図

3. 石炭灰スラリーの特性

石炭灰スラリーは、石炭灰-火山灰-セメント-海水（写真1参照）を混合した材料であり、石炭灰とセメントの反応により中詰材として適度な強度発現が得られるとともに、海水を汚さずに水中打設が可能である。

打設時の側圧は図-5に設計側圧の分布概念を示しているが、石炭灰スラリー自体が自硬性材料であるため、連続打設したとしても一定時間経過すると自立して、鋼管矢板に側圧を及ぼさなくなる。

したがって図-5に示す三角形の石炭灰スラリー側圧が、打上がり進捗に合わせて上方に移動するが、鋼管矢板への残留応力を考えて点線で示される荷重分布とした。この側圧は、石炭灰スラリーの日当り打設量と打設方法によって決定し、土砂による側圧と比べて打設高が高くなると非常に小さい値となる。

材料中の石炭灰は、北海道電力苫東厚真発電所より排出される新生灰であり、表-1に代表的な石炭灰の基本性状を示しているが、これを見ると、炭種により灰の基本性状が異なることがよく分かる。燃焼される石炭は国内炭の産出減少に伴ない海外炭の比率が高く、その輸入先も数ヶ国に亘っている。また厚真発電所では、燃焼炉を2機有し燃焼能力の違いにより、排出される石炭灰の性状も異なっている。含水比について見るとかなりの変動が見られるが、これは排出時の散水状況の違いによるものと思われる。比重及び粒度についても、各炭種によってかなりの差がある結果となっている。

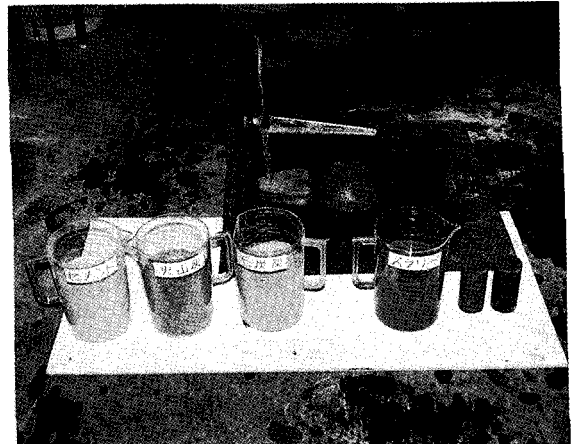


写真-1

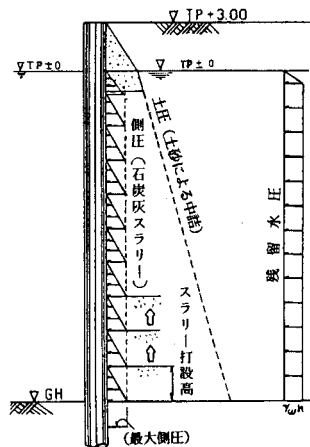


図-5 石炭灰スラリーの設計側圧分布

表-1 資料石炭灰の基本性状

燃 焼 炉	2 号 機					1 号 機		
石炭灰の種類	MO	LI	UL/BA	UL	DR	CV/H	CV/H/BA	CV/BA/IP
含水比 %	23.33	16.89	34.00	22.15	16.98	26.98	24.91	34.47
比 重	2.290	2.156	2.146	2.208	2.425	2.296	2.200	2.274
粒 度	2000-	-	-	-	46	-	-	-
	74-2000	4	3	3	22	36	9	7
	5-74	84	90	89	87	32	85	85
	- 5	12	7	8	11	-	8	6
	最大粒径	2.0	0.3	2.0	0.4	50.8	2.9	2.0
均等係数	5.2	3.3	4.4	6.2	110.6	8.2	3.0	5.7
曲率係数	1.2	1.8	2.3	2.7	-	1.2	1.1	2.0
p H	10.8	5.0	4.4	4.5	11.0	12.4	11.9	12.1
強熱減量 %	5.88	2.61	2.50	3.44	3.63	10.91	10.61	9.66
CaO %	3.26	0.53	0.53	0.48	5.43	6.68	6.06	7.24
MgO %	1.49	0.31	0.31	0.29	1.12	1.76	2.37	1.80
SiO2 %	52.11	66.59	75.68	72.66	50.63	53.22	52.45	53.60
Al2O3 %	23.90	23.65	16.76	19.19	24.76	17.84	19.54	19.59
Fe2O3 %	7.97	1.52	1.42	1.05	9.97	3.91	3.55	3.58
Na2O %	1.03	0.24	0.16	0.34	0.72	0.94	1.02	0.79
K2O %	1.53	2.46	0.35	0.32	0.71	1.54	1.35	1.25
SO3 %	0.20	0.14	0.08	0.04	0.49	0.45	0.52	0.58
total %	97.37	98.05	97.79	97.81	97.46	97.25	97.47	98.09

4. 石炭灰スラリーの配合

石炭灰スラリーの配合設定にあたっては、燃焼される炭種がスポット的であるため、灰種を限定したりあるいは、事前に全ての炭種についての試験は不可能であるため、予め納入が想定される幾つかの石炭灰について設計を満足する流動性状（スランプ）・強度とセメント添加率および含水比との関係について室内試験を実施し適切な配合設定を行った。

式-1で石炭灰スラリーの配合式を示す。また表-2において第3橋脚で使用した石炭灰スラリー代表的な示方配合例を示すが、3P築島工のスラリー打設では10炭種、4Pについては18炭種の石炭灰が現場に納入され、その殆どが新炭種であり、事前に室内試験を行った同一炭種は3炭種のみであった。

現場では、新炭種についての強度確認をしてから配合設定をすることは、現場作業が停止するので配合設定には、発電所に於いてどの燃焼炉から排出された石炭灰であるかと、その灰種の基本性状（化学成分）等より判断し配合設定を行った。

$$\frac{N_c}{G_c} + \frac{N_s}{G_s} + \frac{N_{ce}}{G_{ce}} + \frac{W}{G_w} + N_c \cdot e_c + N_s \cdot e_s + A_i = 1.000$$

$$N_s = \frac{3}{7} \cdot N_c$$

$$N_{ce} = (N_c + N_s) \cdot \alpha$$

$$\beta = \frac{W + N_c \cdot e_c + N_s \cdot e_s}{N_c + N_s + N_{ce}}$$

式-1

- N_c : 石炭灰の絶乾重量 G_{ce} : セメント比重 α : セメント添加率
 N_s : 火山灰の絶乾重量 W : 混合水の重量 (海水) β : 設定配合含水比
 N_{ce} : セメントの絶乾重量 G_w : 混合水の比重 (海水) A_i : 空気量 (3%を考慮)
 G_c : 石炭灰の比重 e_c : 石炭灰の含水比
 G_s : 火山灰の比重 e_s : 火山灰の含水比

表-2 石炭灰スラリー示方配合例 (1㎡当り)

燃焼炉	石炭灰種名	セメント添加率 (%)	配合含水比 (%)	石炭灰比重	1㎡当り所要量 (kg)						石炭灰 (W=15%) (kg)	火山灰 (W=23%) (kg)	
					石炭灰	火山灰	セメント	海水	水	計			
						2.318	3.15	1.207					
①	梶内/BY	4	60	2.090	623	267	36	401	155	1482	716	328	
①	太平洋/CV/BA	4	50	2.160	695	298	40	343	173	1549	799	367	
②	GK/BA	5	40	2.150	768	329	55	270	191	1613	883	405	
②	D R	5	35	2.425	853	365	61	236	212	1727	981	449	

混合物の設計強度は、打設完了後仮締切材料である鋼管矢板に側圧を与えないことと中詰材打設時及び打設完了後の海底地盤をも含めた円弧すべりに対する所要強度を満足させる値を設定した。

配合強度（目標強度）は、この設計強度に石炭灰スラリーを水中に打設することによる強度低下、打設装置直下から水中で流動することによる強度低下及び材料の化学成分等のバラツキによる変動等を加味して、一軸圧縮強度 $q_{91} = 11 \text{ kg/cm}^2$ と設定した。

5. 築島中詰工（石炭灰スラリー）

石炭灰スラリーの混練設備は、棧台上にプラント（図-4参照）を設置し材料供給、混練及び圧送を行った。写真-2に棧台上での混練設備及び材料置場の状況を示す。

火力発電所より排出される石炭灰は飛散防止を図るため、発電所構内に於いて詰込設備を設置し、2. 5

t 程度収納できるコンテナパックに袋詰にして、ト
レーラーにより現場栈台上へ供給した。

図-6に石炭灰スラリーの打設システムを示す。

プラントは通常のレミ・コン工場と同様な設備であ
り、ミキサー容量は1バッチ当り2m³練りである。

ミキサーは攪拌羽根の遊間を狭めて攪拌の均一性を
図った。又、材料の付着防止のため接触部分に合成樹
脂板を張付、或いは、混合水である海水が接触する箇
所にはステンレスを使用するなどの対策を行なった。

石炭灰は、飛散防止のため排出時に加湿され供給さ
れる。又、火山灰は地山より自然含水状態で搬入され

るため、混合の際にはこの含水比を正確に把握して現場配合に反映しないと混合物のスランプ（流動性状）
並びに固化後の強度にも大きな影響を与えるため、プラントでは図-6に示す計量ベルコンのヘッド部に水
分計（赤外線で感知）を設置し、各バッチに使用する石炭灰、火山灰の含水比を計測し次バッチの配合に即
反映させるべくリアルタイム方式を採用し、石炭灰スラリーの配合含水比についての精度向上を図った。

打設は、築島内に円形状の打設足場を設置し、流動による強度低下を抑え、かつ均等に打上がるように1
7カ所より打設し、トレミー管先端部より石炭灰スラリーが放出する時に生じる混合物の乱れを防止するた
めグラウト方式で打設を行なった。

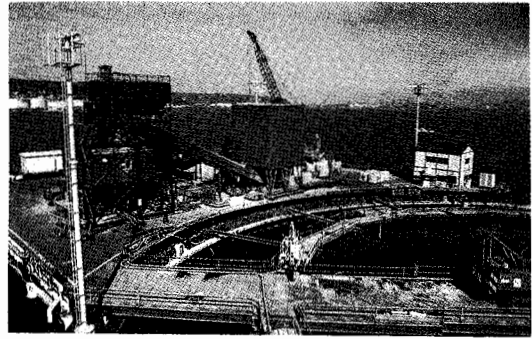


写真-2 混練設備及び材料置場状況

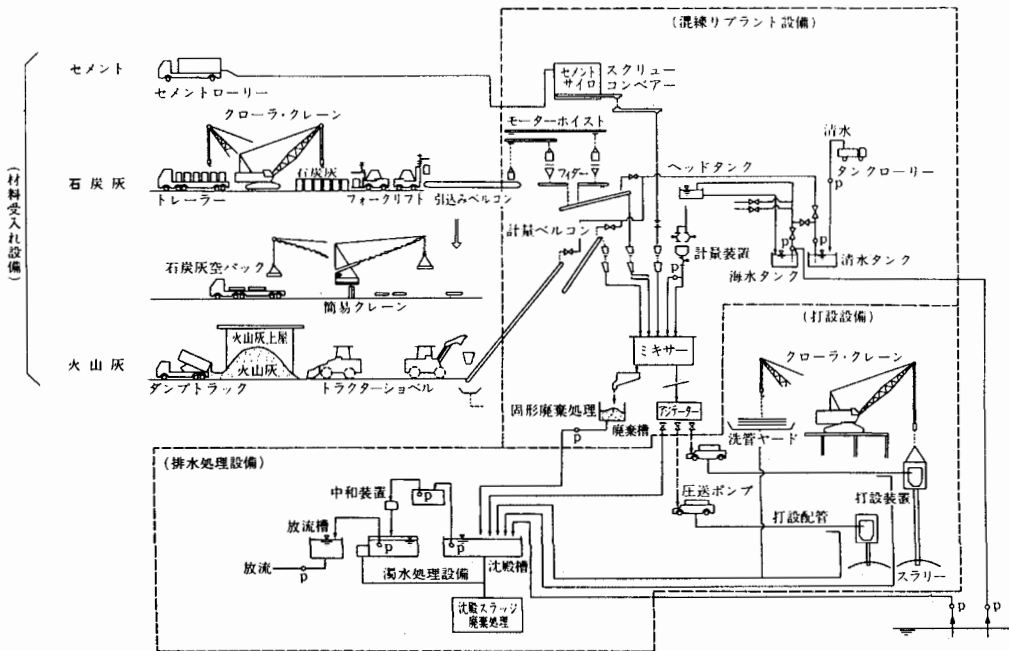


図-6 石炭灰スラリー打設システム

6. 石炭灰スラリーの品質管理

品質管理項目は、材料の管理として火山灰の比重、粒度構成及び自然含水比であり、石炭灰については含
水比を管理し、又、スラリー混合物としては、スランプ、一軸圧縮強度、ブリージング率、密度試験等を実
施した。流動性状を示すスランプ値は、8~13cmの範囲で管理し、一軸圧縮強度試験は日常管理として直径
5cm、高さ10cmの円柱供試体により実施し、また、築島内部において硬化後のスラリーについてコアボー

リングを行って、そのコア強度を確認した結果を図-7に示す。

図中に於いて、強度バラッキが見られるがこれは、新炭種の灰が大量に現場に搬入されたためであり、また、コア強度については、水中打設・流動距離による強度低下であり、いずれも設計強度を十分満足するものである。

7. 築島工の計測

石炭灰スラリー打設時の安全管理を主目的として各種計測器を鋼管矢板、頭部リング腹起し及び海底地盤に配置し計測を行い、各構造物の挙動を把握しながら石炭灰スラリーの打設を行った。図-8に鋼管矢板部に設置した土圧計より得られた石炭灰スラリー打設に伴う、鋼管矢板に作用する側圧の経時変化を示す。打設初期において発生する側圧は、ほぼ設計側圧と一致しており、スラリーが硬化してくると鋼管矢板に及ぼす側圧が消失していることを示している。また、図-9に鋼管矢板の発生応力を示すが、発生モーメントも、ほぼ計算値に等しいことから、築島中詰材料として石炭灰スラリーを使用したことによる、土圧軽減の効果が認められた。

8. あとがき

今回、海上部に於ける築島中詰材料に初めて石炭灰スラリーを使用した。この材料の特徴としては、単位体積重量が軽い、適度なセメント量の添加により設計で要求される強度を自由に選択できる、固化後自立し鋼管矢板に側圧を及ぼさないなど多くのメリットを有している材料である。今後の課題として石炭灰スラリーの強度を高い精度で管理する方法、石炭灰の輸送コストの低減、および飛散防止方法の簡便化などがあり、これらの課題を解決していけば、同様な手法により軟弱地盤処理工法、土圧軽減対策工法など、土木材料としての需要が増加するものと考えられる。なお、白鳥大橋の主塔基礎工事は築島工を完了し、3Pについては大深度の地中連続壁工を完了させ、4Pについても現在順調に推移しているところである。

参考文献

- 1) 山崎達哉・能登繁幸・加治屋安産・安保良一：白鳥大橋築島中詰材（石炭灰スラリー）の配合試験、土質学会北海道支部技術報告集第26号、昭和63年2月

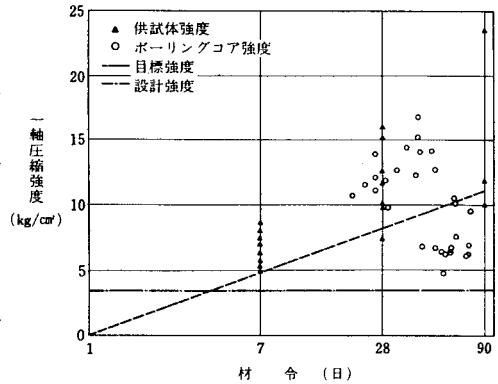


図-7 一軸圧縮強度試験結果 (3P)

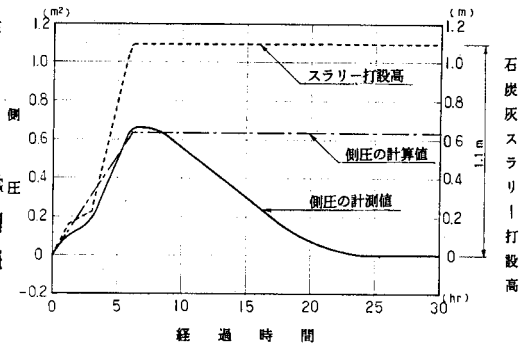


図-8 側圧の経時変化

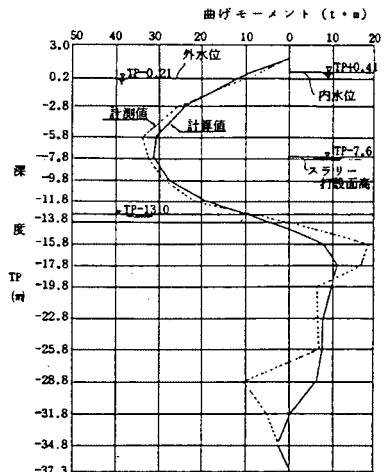


図-9 鋼管矢板曲げモーメント