

# 柳之御所保存に伴う河道掘削土を用いた水中撒出し盛土について

東北地方整備局 岩手河川国道事務所 工務第三課 佐藤 伸幸

## 1. はじめに

本報告は、一関遊水地事業における平泉堤防において、工期短縮・コスト縮減等の観点から、河積確保のために必要であった対岸の掘削土を用いた「水中撒出し（水締め）工法」による高水敷造成について報告するものである。

これまで、河川において、しかも大規模な施工事例がなかったことから、今回、事前に室内再現試験等による盛土強度の予測を行い、「水中撒出し工法」による施工を可能と判断した。なお、撒出し施工後には予測値と実測値との比較を行い、水締め効果の定量化を図った。

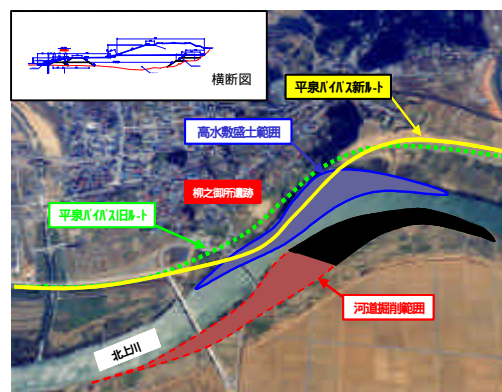
今回、水締め効果による「水中撒出し工法」での施工により、従来から一般的に行われている「仮締切による盛土工法」と比較した結果、必要な強度を確保しつつも、下表に示すとおり大幅な工期短縮とコスト縮減が図られた。

	「仮締切による盛土工法」(従来)	「水中撒出し(水締め)工法」(今回)
工期の短縮 …3箇年の工期短縮	工程 締切 水替 土砂運搬 敷き均し 締固め  右岸高水敷造成まで 4箇年を要す	工程 岩砕・岩ズリによる築島 左岸掘削河床材料 運搬 敷き均し  右岸高水敷造成まで 1箇年を要す
コストの縮減 …約3億円(工事費)超の縮減	工種 矢板締切+水替+締固め	左記の工種について、本工法において不要となるため縮減される

工期短縮・コスト縮減比較表

## 2. 柳之御所保存と水中撒出し検討の経緯

一関遊水地事業における平泉堤防は、無堤部解消の他、狭隘な市街地迂回を目的とした国道バイパスと併せた兼用堤である。旧ルートで施工の前に行われた文化財の発掘調査において、計画敷地内に藤原時代の政庁跡である柳之御所が確認されたことから、国土交通省(旧建設省)は、この重要性に鑑み、史跡を完全に避けることとし、平成7年に河川改修計画及び都市計画(道路ルート)を北上川の河道上に変更している。



平泉堤防施工概要図

また、平成13年度の予算化に際し、TC制度を利用し合理的な施工計画を再検討し、矢板締切を用いない、「水中撒出し工法」の具体化を図ったものである。

### 3. 検討内容

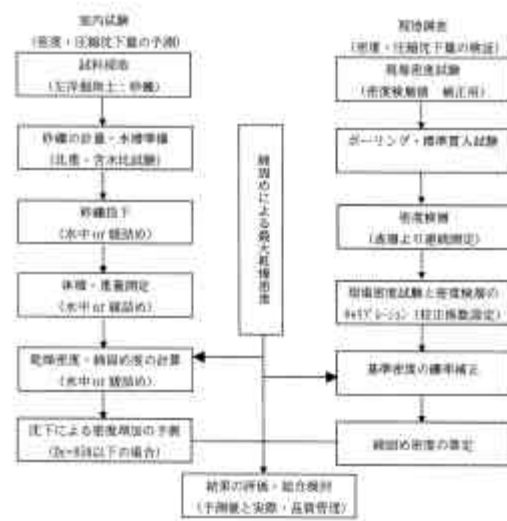
#### 3.1. 室内試験

水中撒出し施工の可否を検討するため、事前に室内試験にて、河床掘削土による水中撒出しを再現し、水中での締固め度を予測する。

#### 3.2. 現地調査

水中撒出しで造成した高水敷において、施工後に、ボーリング及び密度検層によりN値と現場密度を測定し、品質の確認と予測値とを比較する。

水中撒出しに対する事前検討 事後調査の流れ



### 4. 検討結果

#### 4.1. 水中撒出し室内再現試験

##### 4.1.1. 試験方法と最大乾燥密度の設定

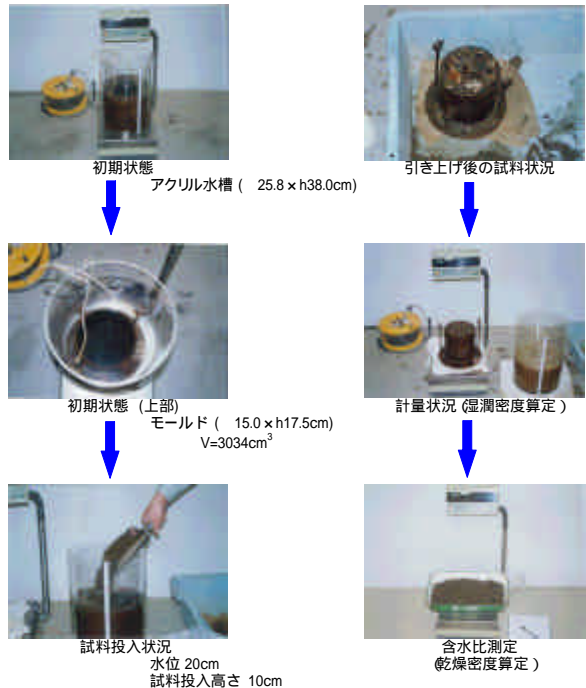
室内における再現装置を作成し、「東北地方整備局共通仕様書」による「突固めによる締固め試験」により求めた、最大乾燥密度 (  $d_{max}$  ) を基準密度として、締固め度を算出した。

$$\text{締固め度 } D_c = \frac{\text{水中投入密度}}{\text{基準密度 (最大乾燥密度)}}$$

水中投入試験による密度・締固め度一覧表

試験番号	No.20(礫質土)	No.22+18(礫質土)
工区名	平泉・平泉下流	高麗
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.022(基準密度)	2.006(基準密度)
水中投入密度・締固め度	試験状態	
	投入高 0cm	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) 締固め度 $D_c$ (%)
	投入高 10cm	$\rho_d=1.896$ $D_c=92.3$
	投入高 30cm	$\rho_d=1.899$ $D_c=94.7$
投入高 10cm	$\rho_d=1.897$ $D_c=93.8$	$\rho_d=1.905$ $D_c=95.0$
投入高 30cm	$\rho_d=1.910$ $D_c=94.9$	$\rho_d=1.953$ $D_c=97.4$
最小密度(最小密度)	$\rho_d=1.416$ $D_c=70.0$	$\rho_d=1.567$ $D_c=78.1$

水中における密度の測定 (試験室による検証)



《結果》右岸高水敷造成には、対岸の河道掘削により生じる、河床材料の使用を予定していたが、礫質土が主体となっており、細粒分の混入が  $F_c=10\%$ 以下と少なく、全て締固め度  $D_c=90\%$ 以上を示した。

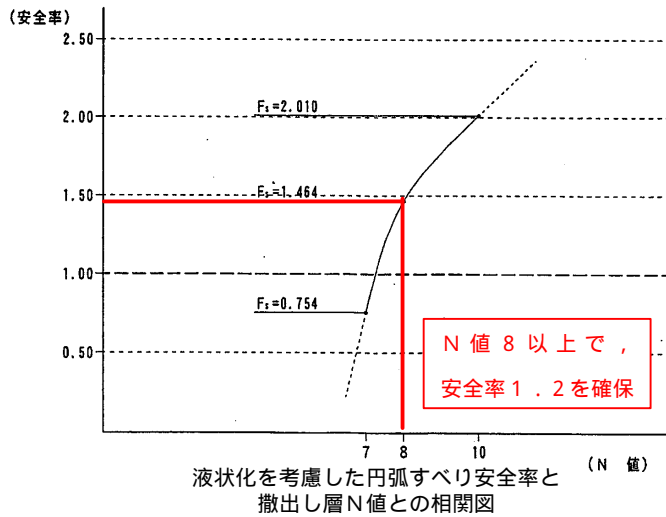
よって、「東北地方整備局共通仕様書」の河川土工の規格値である、最大乾燥密度の  $85\%$ 以上を満たすため、「水中撒出し工法」による施工が可能と判断した。

## 4.2 水中撒出し層の品質確保

### 4.2.1 必要N値・締固め度

水中撒出し層についての管理基準値について、耐液状化や堤体安定上の必要強度を算定し、前述の室内試験結果との比較を行うことで、水中撒出し施工の可否を検討した。

具体的には、液状化強度と密接な関係があるN値について、室内試験で得られた相対密度  $D_r$  を媒介として、水中撒出し層のN値を想定した。



左図は、現地の材料を用いた試験データを基に液状化による過剰間隙水圧を考慮した円弧すべり安全率をまとめたものである。

同図から盛土の必要安全率 1.2 以上を満足するためには、N 値 8 以上が必要ことが判る。《結果》水中撒出し層のN値については、室内試験で得た相対密度 0.71( $D_{c85}$ ) ~ 0.4(水中密度)の範囲から、下表により、地盤N値 8 以上は十分確保可能と判断した。

砂の相対密度とN値、内部摩擦角の関係（地盤調査法：地盤工学会）

N値	相対密度(relative density) $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$	内部摩擦角 $\phi$ (度)		
		ベックによる	マイヤーホフによる	
0~4	非常に緩い(very loose)	0.0~0.2	28.5以下	30以下
4~10	緩い(loose)	0.2~0.4	28.5~30	30~35
10~30	中位の(medium)	0.4~0.6	30~36	35~40
30~50	密な(dense)	0.6~0.8	36~41	40~45
50以上	非常に密な(very dense)	0.8~1.0	41以上	45以上

### 4.2.2 沈下量

「 $e$ 法による沈下量の算定式」を基に作成した、右記の盛土高と沈下量の相関図にて、盛土高と予測したN値の関係から沈下量を予測した。

「 $\Delta e$ 法による沈下量の算定式」

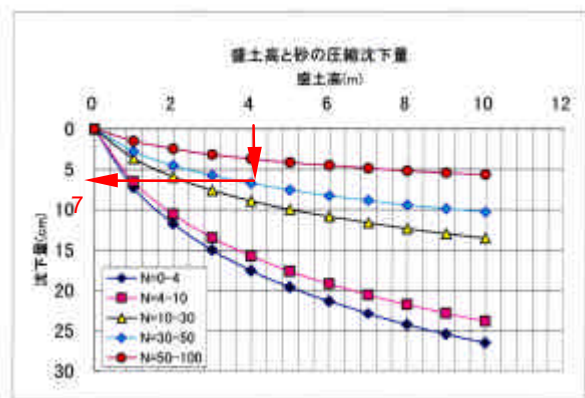
$$S = \left\{ \frac{(e_0 - e_1)}{(1 + e_0)} \right\} \cdot h$$

$S$ : 沈下量 (m) ,  $h$ : 圧密層厚 (m)

$e_0$ : 初期空隙比

$e_1$ : 圧密後の空隙比 (圧密荷重  $\sigma' + \Delta p$  での空隙比)

(道路土工 軟弱地盤対策工指針：(社)日本道路協会)



沈下量とN値の関係

No.20 水中撒出し層厚 5.0m (N < 50 区間)

《結果》4m 盛土し、予測したN値 (30 ~ 50) になったと想定したとき、水中撒出し施工後の沈下量は、約 7 cm と予測した。

### 4.3 現地試験

水中撒出し層の密度を確認するために、高水敷造成箇所、ホ-リング孔においてRIを用いた孔内検層を行った。また、N値、沈下量等についても、現地測定を行った。

試験結果による実測値と予測値の比較結果を下表に示す。

締固め度・N値・沈下量の予測値と実測値

	締固め度	N値	沈下量
	Dc(%)	(回)	(cm)
最大密度	100.0	-	-
予測値	92.3	30~50	7
実測値	95.5	15	4.3

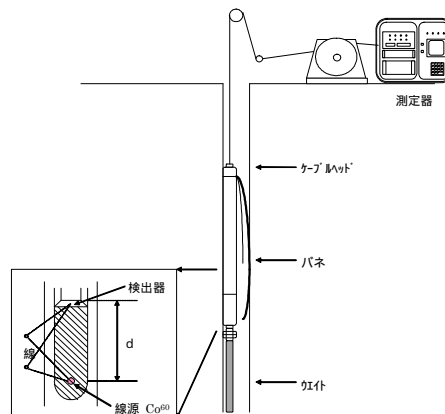
《結果》室内再現試験による予測値と、撒出し施工後の実測値について、

締固め度は、大差がなかった。

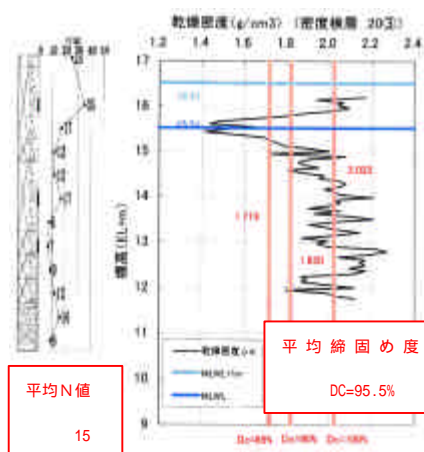
N値は、標準貫入試験等にて行ったが、予測値に比べ実測値を下回った。地上と比較し、水中ではN値が低くなる傾向が見られたが、必要とする値を確保できている。

沈下量は、沈下板で観測を行ったが、大差がなかった。

また、機械による締固めを行っていない、河床~MLWL+1mまでの範囲で、「東北地方整備局共通仕様書」の河川土工の規格値である、最大乾燥密度の85%以上を満たしている結果から、水中撒出し(水締め)の工法は、使用する材料により、有効的な工法であることが確認できた。



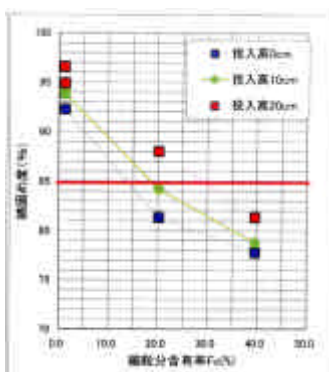
密度検層概念図



密度検層結果図(平泉工区)

## 5. 「水中撒出し工法」にあたって、材料と強度の定量化

### 5.1 水中投入により、締固め度Dc85%を確実に得るには？



施工状況(BD押出)を考慮した場合、水中投入により締固め度Dc85%以上を確実に得るために、

平均粒径D50 > 2mm

細粒分含有率Fc < 10%

が必要条件と考えられる。

粒度特性と水中投入試験による密度の関係

## 6. おわりに

柳之御所跡は、北上川の水衝部にあたるため、長年に渡り浸食され、一時、遺跡は、川によって流されたと思われていた。今回、遺跡保存のため、河川を約130m左岸へ寄せる工事を当初の予定期間を大幅に短縮し実施するにあたり、盛土の強度、安定といった施工管理の面を中心に検討を行いとりまとめたものであり、今後の参考となれば幸いである。