

54. 多自然型護岸施工機械の開発

建設省関東技術事務所：太田 宏、*竹内 孝之
(株)神戸製鋼所：芦田 恵樹

1. はじめに

近年、河川をとりまく社会の状況が大きく変化し、河川は山と海を結ぶ水と緑豊かなネットワークあるいは自然空間として見直されつつあり、護岸も単に浸食から河岸を守るだけでなくより自然に近いものが求められている。これに応じて河川事業においてもコンクリート護岸に替えて、連節ブロック工法・かごマット工法・法覆い工法などの多自然型護岸工法が積極的に採用されてきている。しかし一方で、これらの工法には次のような課題がある。

- ①施工時に、場合によっては自然の河岸に人工の手を加える。
- ②施工時の仮締切が必要となり、出水期の施工ができない。
- ③人手を多く必要とし、工期が長くなる。

これらを踏まえて、自然の河岸に手を加えることなく河岸に沿って地中に連続したソイルセメントの傾斜壁を「控え護岸」として造成する工法を開発した。完成護岸のイメージを図-1に示すが、自然の護岸がそのまま保存されて良好な河川環境の創出が可能である。

本報告は、平成7年度と平成8年度に実施した多自然型護岸施工機械による試験施工の結果についてとりまとめたものである。

2. 工法の概要

ソイルセメント地中連続壁工法には、柱列式工法およびチェーンカッタを用いた横方向連続掘削工法（TRD工法）があるが、これらの工法の特徴を比較し、以下の特長からTRD工法を応用して、傾斜した地中連続壁の造成が可能のように改造した。

- ①壁の連続性が高い。
- ②深さ方向に均質である。
- ③掘削能力が高い。
- ④低頭で装置の安定性が高い。

TRD工法は、チェーンソー型カッタ（掘削・攪拌装置）を必要な深度まで貫入し、そのまま横行させてソイルセメントの連続壁を造成するものである。従来のTRD工法は鉛直方向に壁を造成するものであったが、この連続壁を控え護岸として機能させるため、壁面前部の土が浸食された場合の前面への倒壊を考慮して、連続壁を傾斜させて造成すること



図-1 完成護岸のイメージ

としたもので、試験施工に使用した装置は図-2に示すものである。ソイルセメント連続壁の造成は、カッタで傾斜溝を掘削しながら同時に固化材を注入・混合し溝壁を保持するものであり、図-3に示すとおり河岸に手を加えることなしに施工が可能である。

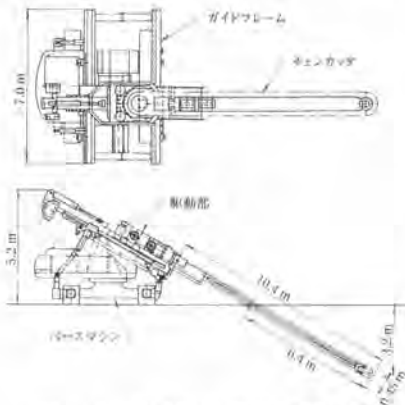


図-2 試験施工用装置の概要



図-3 施工のイメージ

本工法の特長をまとめると以下となる。

- ① 自然の河岸に手を加えないで、地中に控え護岸が構築できる。
- ② 仮締切が不要であり、通年施工が可能である。これにより建設費の縮減が図れる。
- ③ 河岸に手を加えないため河川の汚濁がない。
- ④ 労働者の不足、高齢化、未熟練に対応した機械化施工である。

3. 試験施工

(1) 試験内容

本工法の施工性を確認するため、利根川水系小貝川の河岸にて、これまで2回に分けて試験施工を実施した。施工中の状況を写真-1に示す。

共通試験条件として造成する壁の長さは6.5m、厚さは450mmで施工を行った。

施工現場の土質については、図-4に示すとおり砂層で構成され地下水位が高い。

第一回目の試験施工の目的としては傾斜した地中連続壁の施工が可能か確認することであり、以下の各項目について確認するための試験施工を行った。

- (a) 傾斜角度 : 傾斜連続壁造成の可否及び角度の違いによる施工性
- (b) 固化材配合量 : 固化材配合量と壁強度
- (c) カッタ進行速度 : カッタ進行速度と壁強度

第二回目の試験施工は、護岸への適用範囲を検討するために、以下の各項目について確認するための試験施工を行った。このときの施工平面図を図-5に示す。

- (d) 強度向上 : 設計強度として $q_u=100\text{kgf/cm}^2$ を目標とした生コン混合
- (e) 鉄筋等挿入 : 補強材としての鉄筋、金網等の挿入
- (f) 透水性 : 腐食材混入による透水性確保
- (g) 曲線施工 : 凹凸部の施工性



写真-1 施工の状況

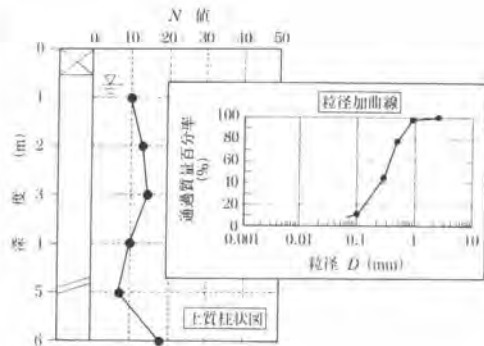


図-4 土質の概要

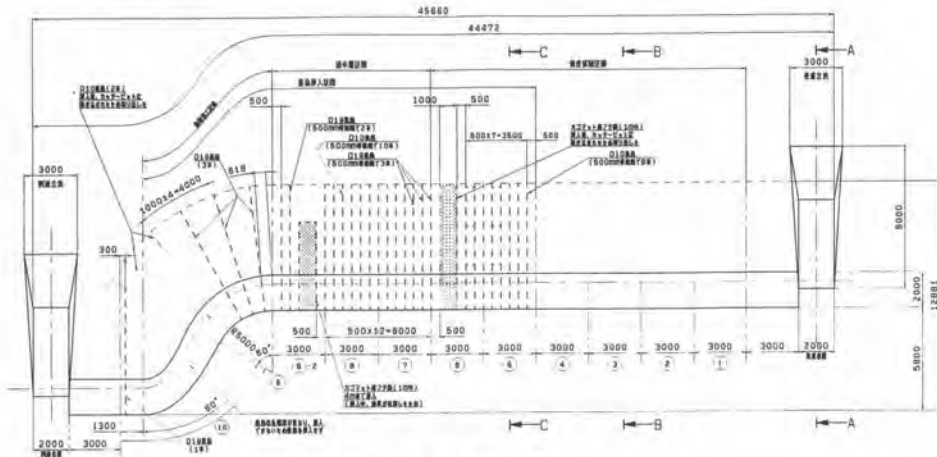


図-5 施工平面図

2回の試験施工についてそれぞれの試験ケースをまとめたものを表-1と表-2に示す。

表-1 試験条件 I

	施工条件			固化液条件				
	進行速度 (mm/min)	施工距離 (m)	傾斜角 (°)	固化液比重	水固化材比* (%)	配合量** (kg/m ³)	流量 (L/min)	固化液土比*** (%)
試施 No. 1	100	5	30	1.50	100	444	170	59
2	100	5	30	1.56	80	537	174	60
3	100	5	30	1.34	150	416	219	76
4	100	5	30	1.27	200	334	225	77
5	200	5	30	1.47	100	375	287	49
6	50	5	30	1.46	100	685	131	90
7	100	5	30	1.45	100	468	179	62
8	100	5	40	1.51	100	375	168	49
9	100	5	40	1.37	150	394	177	52
10	200	5	40	1.50	100	405	363	53

*水固化材比は、固化液における固化材に対する水の割合(重量化)

**配合量は、原位置土1m³あたりの固化材混合量

***固化液土比は、原位置土に対する混合固化液の割合(体積比)

表-2 試験条件II

No.	配合条件			実投入量			攪拌条件 (mm/min)	備考
	生コン 体積%	腐食材 体積%	添加材 kg/m ³	生コン 体積(%)	セメントスラー 体積(%)	セメント (kg/m ³)		
①	70	—	—	75.4	87.7	784.0	100	①MM ②R5 ③R5 ④R5 ⑤R5 ⑥R5 ⑦R5 ⑧R5 ⑨R5 ⑩R5
②	85	—	—	88.0	56.2	661.1	100	
③	55	—	—	62.8	56.4	561.4	100	
④	70	—	—	75.4	56.2	610.7	200	
⑤	70	—	—	75.4	68.9	680.6	50	
⑥	70	—	—	75.4	62.6	645.9	100	
⑦	70	10	—	75.4	56.3	611.3	100	
⑧	70	—	1.0	75.4	63.0	648.1	100	
⑨	70	—	—	75.4	62.8	647.0	100	
⑩	70	—	—	50.4	50.3	564.3	100	
⑪	70	—	—	50.4	61.0	537.1	100	— A B — — 線 — 同質同曲 — 同質同曲 — 同質同曲

* 配合および投入量は、原位置土に対する比率を示す。
 * 区間⑩は、計画曲率での施工が不能であった。
 * セメント配合量は、生コン：400kg/m³、セメントスラー：550kg/m³

(2)試験結果

(a)傾斜角度

試験施工現場の土質が砂質で地下水位が高いため、施工時の溝壁の崩壊が懸念されたが、連続して固化材を注入しつつ掘削、攪拌土を地中に巻き込む方向でチェーンを回転させることによって、原位置土を排出せず溝内を高比重に保って施工を行った。これにより懸念された溝壁の崩壊はなかった。

図-6は、試験施工で造成した壁の位置を事後のサンプリングにより調査し、計画と対比したものである。図によると、所定の厚さの壁体をほぼ計画位置に造成することが確認できた。壁の位置の精度に関して、また壁の均質性に関して傾斜角度の違いによる影響はみられず、鉛直から俯角30度までの範囲では、壁の品質に対して傾斜角度の影響はないと思われる。

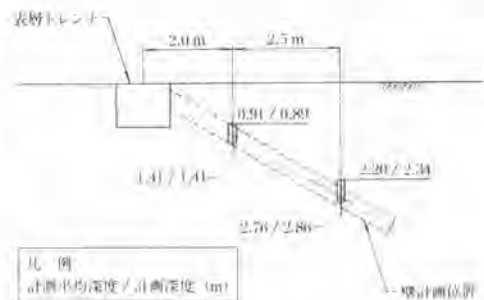


図-6 壁形状の計測結果

また、施工機械の部材に働く応力は鉛直施工時と変わらないため、本機械では長さ12mまでの施工が可能であることが確認できた。

(b)固化材配合量

図-7に固化材配合量と一軸圧縮強度の関係を示す。なお「室内」は試験施工に先立って行われた室内配合試験の、「現場」は試験施工後のサンプリング調査によって得られたデータである。データによると、配合量に対応した強度が得られており、また均質な砂質であったことからソイルセメントとしては大きめの強度となっている。なお、「現場」のほうが「室内」よりも強度が大きくなる理由としては、通常のソイルセメントと同様に次のことがあげられる。

- ①小型のモールドで作成した供試体は、十分な土粒子の再配列や圧密が起こらないまま凝固する。

- ②現場では、固化中の周辺地盤からの拘束圧力が大きい。
- ③固化によって生じる余剰水が、室内試験で考慮するよりも多く周辺地盤に散逸し、水セメント比が改善される。

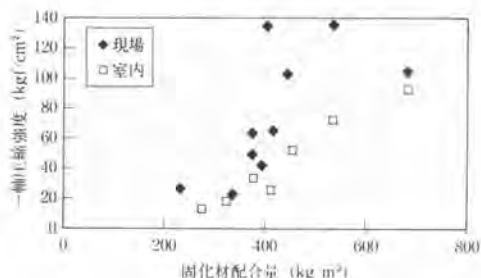


図-7 固化材配合量と強度の関係

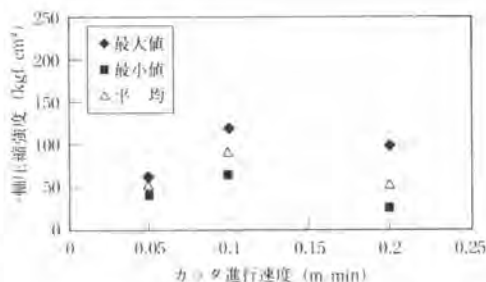


図-8 カッタ進行速度と強度の関係

(c)カッタ進行速度

図-8にカッタの進行速度と壁強度の関係を示す。一軸圧縮強度は、配合量を400kg/m²に換算して比較している。カッタの進行速度は、固化材と原位置土の攪拌混合性に影響し、速度が遅いほど攪拌混合時間が長いことになる。データからは進行速度を上げることによって、各条件内でのばらつきが大きくなる傾向が見られ、攪拌混合時間が壁の均質性に影響することが推察される。

(d)強度向上

設計強度として $q_u=100\text{kgf/cm}^2$ を得るには、通常のセメントミルクだけでは達成が困難であるため、セメントミルクに加えて生コンを投入して施工を行ったものである。

「現場」の強度試験は現時点で行っていないため、室内配合試験結果のみを図-9に示す。生コン配合に対応した強度発現傾向があり、70%程度の配合で $q_u=100\text{kgf/cm}^2$ が達成されている。壁体の透水性確保を目的とした腐食材混入時の強度は腐食材(ココピート)が水分を吸収し、水セメント比が改善され強度が大きくなったと思われる。

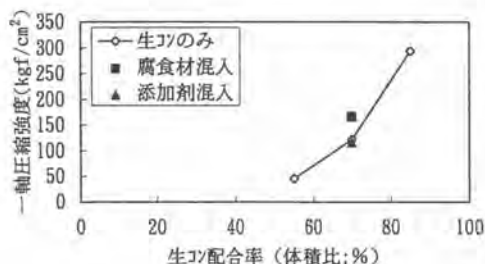


図-9 室内配合試験結果(28日強度)



写真-2 鉄筋挿入

(e)鉄筋等挿入

D10とD19の鉄筋及び金網を掘削攪拌機（カッタ）を使って挿入することを試みた。施工可否の確認が目的であり、人力で鉄筋のセットを行っているため施工効率は悪いが、鉄筋の挿入は可能であり、金網は不可能であった。実施工に用いるためには施工の効率化が必要である。鉄筋挿入時の写真を写真-2に示す。

(f)透水性

多孔質構造体の造成を目的に腐食材（ココピート）の混入による透水性の違いについて確認試験を行った。「現場」の透水性確認は行っていないが、室内配合試験結果では透水効果は認められなかった。

(g)曲線施工

凹部及び凸部について半径R 5 mの試験施工を行った。凹部施工は不可能であり装置の水平長さ（今回5.5m）以上の半径が必要であると思われる。凸部については可能であったが、方向修正のため装置のもりかえが必要であり、直線部より施工能率は低下している。

(h)多自然型護岸施工機械の施工可能領域

本試験施工により、以下の条件下ではTRD工法を用いた地中連続壁施工が可能であることが確認できた。

- ①施工可能壁長さ：約12m
- ②施工可能壁厚さ：450mm
- ③壁傾斜角度：鉛直から水平俯角30度まで
- ④適用可能土質：粘土～砂

4. 今後の課題

本工法を河川護岸として適用していくためには、設計・施工の両面で地中控え護岸の目的・用途などをふまえた最適な手法を確立していく必要がある。現時点では収集したデータも少なく施工面に対しては、以下の検討課題が残されている。

- ①壁の強度、均質性に対する土質、固化材配合量、カッタ進行速度の影響を調査し、目標強度を得るために最適な施工方法を確立する。
- ②鉄筋等芯材を効率的に挿入する手法を開発する。
- ③透水性が求められる場所で透水性を確保する手段を開発する。
- ④壁体の耐久性・経年変化を確認する。

5. おわりに

試験施工の結果、本工法による地中控え護岸の造成が実現可能であることが確認できた。自然環境を重視する社会状況に合わせて、今後広く展開を図っていきたい。そのためには設計面・施工管理面での理論・手法の確立も必要となってくるが、このためにも試験施工を実施して、データを積み重ねていくことが必要であり、今年度は土質条件の違いによる影響把握、鉄筋挿入手法の確立を重点として開発を進めたいと考えている。

今後共、関係各位のご指導：ご協力をお願いする次第である。