

III-1 石狩における 軟弱地盤改良工事

北海道庁発局 石狩川開発建設部

“ “ “
“ “ “

萩生 芳朗
正員 工藤 昇
近藤 幸雄

1. まえがき

昭和50, 56年に石狩川を襲った大洪水は、泥炭性の軟弱地盤を擁する中・下流部にあり、堤防の溢水・破堤という大災害をもたらした。その主たる原因は、治水事業の遅れにほかならないが、中積世に形成された石狩平野における泥炭軟弱地盤がもたらす長期間にわたる残留沈下およびスベリ破壊等が、河川事業の進捗に障害になったもので、これら大洪水被害も、この泥炭地盤がその一因であったものである。

50年洪水を機に創設された激持事業（激甚災害対策特別緊急事業）遂行のために、数多くの新工法を含む基盤処理工法の検討や試験工事を実施し、それらの成果に基づいて、基盤処理工事を135件、延長49 kmに及んで実施することにより、基盤処理効果が実を結び、この事業の進捗に大きな成果をもたらしたものである。

本文は、基盤処理工法の主流となった新工法「パイルネット工法」を主とし、石狩における基盤改良の概要について述べるものである。

2. 石狩川の泥炭地盤と基盤改良工事の取組み

石狩平野には、平野面積の約5%に相当する620 km²の泥炭地盤が石狩川をはさむように分布している。

泥炭層の厚さは、平均6 m、深いところでは12 mに達する箇所もある。石狩平野における泥炭の工学的性質は、含水比が200~1,000と極めて大きいこと、圧縮指数が2~10と極めて大きいこと、コーン支持力 q_c が0.5~4 (kg/cm²)とせん断力が小さいことなどが特徴となっている。

昭和50年洪水以前における石狩川の泥炭地盤への対策は、1部にサンドコンパクションパイルあるいはサンドパイル工法が用いられていたものの、主流は押し盛土など盛土断面を工夫しながら、自然圧密により地盤の強度増加を得て、段階的に盛土を行なう緩速施工法がとられてきた。

昭和50年8月洪水による激持事業の採択により、軟弱地盤で堤防の維持度の低い、江別、岩見沢地区の169 kmに及ぶ堤防が上げのうち、約30 kmが地盤改良を必要とするもので、これらを突発4^年（統事業費200億円）で目的を達しなければならないという使命を受けて、種々の試験^工事を実施した。

試験結果は、パイルネット工法が短期的に盛土高さの確保が容易で、施工性にも優れているのに対して、他の工法は周辺地盤への影響が大きいこと、改良効果や施工性などに問題があったことなどから、パイルネット工法が効果的であると判断した。

なお、パイルネット工法の採択基準は、コーン支持力が3 kg/cm²以下、河道が近い、高盛土である、隣接地盤への影響が許されないなどのきびしい制約条件に適用したものである。

3. 軟弱基盤処理工事の実施内容

石狩川中・下流部において軟弱地盤処理が必要な築堤延長は、築堤総延長890 kmのうち16%に相当する146 kmとされているが、このうちその9%に相当する62.6 kmの実施をみた。その実施内容は、表-1に示すとおりであり、基盤処理工事の主体はサンドコンパクションパイルとパイルネット工法で占められている。

表-1 基礎処理工事の実績表

工 法	件数	延 長 (m)	延長 割合 (%)
サンドコンパクションパイル	50	24,703	50
パイルネット	77	20,783	42
掘削置換	2	1,763	3.7
生石灰パイル	2	1,294	2.7
砂利セメントパイル	1	630	1.3
J S T	3	165	0.3
計	135	49,368	100

4. パイルネット工法

1) パイルネット工法の基礎的概念

パイルネット工法とは、軟弱地盤に既設くいおよび場所打ぐいを適当な深さまで打込んだ後、くい頭部を鉄筋等で連結し、その上部に土木用シートなどを敷設して盛土を行う、軟弱地盤処理安定工法である。

パイルネット工法の基本的構成は、盛土荷重にたじ、群ぐい理論により、あらかじめ沈下量を予定して設計された長さのくいを、設計された間隔で打込んだ後、設計された太さの鉄筋でくい頭部間をたわみ角 30° を持たせて連結する。くい頭部を連結した後、地盤が沈下しても空洞にならないよう、あらかじめ、流動性の高い砂などを入れてマット状を形成し、さらにくい

頭部から30cm程度上げ越したところへ、盛土荷重にたじ強さの土木用シートを敷設し、その上に盛土を行う。

このため、工法の安定は、盛土荷重が直接地盤面に作用せず、群ぐい効果により深層に作用するため、すべり破壊および塑性流動の発生を防ぎ、自由性を持ったくい、鉄筋およびシートの緩和作用が軟弱地盤とのなじみをよくし、これらの相乗効果により、安定性が確保できるものである。

また、工法の施工性は、施工管理も容易で、施工時期の制約も受けず、急速施工が本来、隣接地盤への影響が少ないため河道閉塞、水田の隆起などの二次的被害もなく、振動、揺れ、局部あるいは極端な沈下がないため、盛土管理も本来、運動性の確保と施工期間の短縮ならびに工費も比較的安価であるなど施工性に優れている。

2) 設計方法

(1) くい間隔の設計

くい間隔は、群ぐい効果が得られるよう次式で求める。

$$L = 1.5 \sqrt{D \cdot D_f / 2} \quad \text{————— (1)}$$

ここに、

D : くい直径(m)

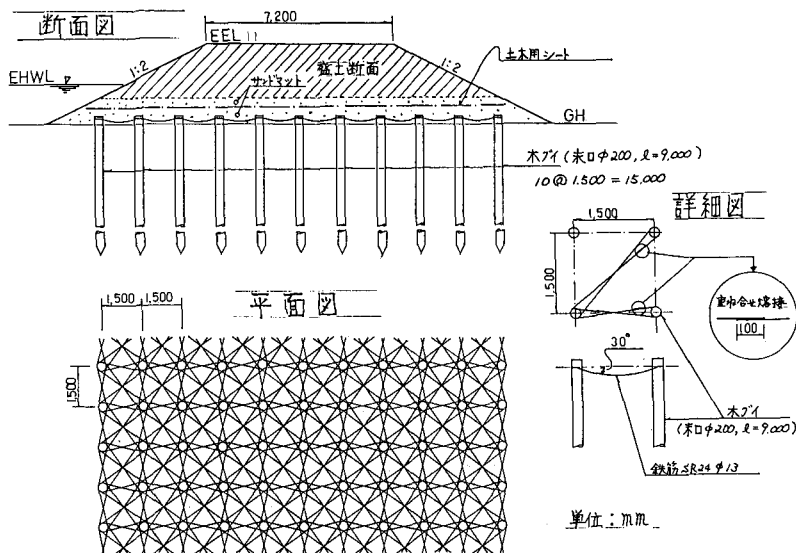


図-1 パイルネット工法の実例

d_f : 地中のくい長さ(m)

(ii) くい長さの設計

くいの極限支持力は、テルツァギーの群ぐい公式²⁾を整理して、筆者が次の経験式を導いた。

$$R_d = 4.68 \cdot C \cdot D \cdot d_f \quad (2)$$

こゝに、

R_d : くい1本当りの極限支持力(t/本)

C : くい先端部の地盤の粘着力(t/m²) = $(\rho_c/20)$

一方、くい1本当りの上載荷重を、次式により求める。

$$P_w = l^2 (\gamma \cdot h + W_s) \quad (3)$$

こゝに、

P_w : くい1本当りの上載荷重(t/本)

h : 盛土の高さ(m)

γ : 盛土の単位体積重量(t/m³)

W_s : 雪および自動車などの上載荷重(t/m²)

(iii) 連結鉄筋の設計

連結鉄筋には、Lamiの走理⁴⁾から、あらかじめ $\theta=0^\circ$ のたわみ角をつけるものとする。

鉄筋の許容応力は、次式により求められる。

$$S = \tau_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4,000} \quad (4)$$

こゝに、

S : 許容応力(t)

τ_s : 許容応力度(kg/cm²)

d : 鉄筋直径(cm)

一方、鉄筋に作用する引張力は、次式で求められる。

$$T = \frac{0.5 l^2 (\gamma \cdot h + W_s)}{2 m} \quad (5)$$

こゝに、

T : 鉄筋1本当りの引張力(t)

l : くい間隔(m)

m : 鉄筋の組本数

(iv) 土木用シートの設計

土木用シートの所要強度は、前項同様に次式で求める。

$$\tau = \frac{0.5 f \cdot l^2 (\gamma h + W_s)}{l'} \times 10 \quad (6)$$

こゝに、

τ : シートの所要強度(kg/cm²)

l' : シートを支える鉄筋延長(m)

f : シートの安全率(1.2)

3) パイルネット工法の試験および追跡調査^{1), 3)}

i) 施工時および施工後の挙動

施工実績77例と試験工事3例および追跡調査30例を実施してきた。

本工法は、サンドコンパクションパイルと比較して、特に条件の悪い地盤に適用したにもかかわらず、周辺地盤および盛土自体の変形が小さく、10cm以下と確認された。施工挙動についても問題なかったもので、挙動の一例を示す沈下係数について図-2に示したが、サンドコンパクションパイル工法と比べ大きくその差異が認められる。

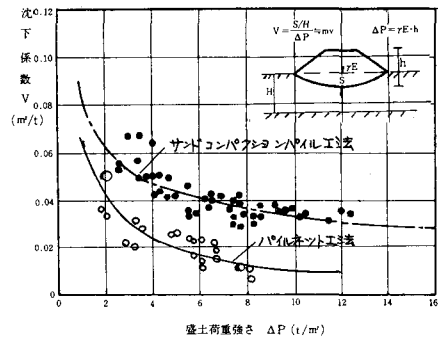


図-2 沈下係数

ii) 形状の確認

施工後5年経過した堤防を掘り割って確認したか、最大沈下量1.9m(設計では2m)で、沈下形状も当初から予想した放物線形を成し、くい頭部付近でのすき間もなく、使用された部材もそれぞれしっかり働いていた。

iii) 湛水試験による漏水に対する確認

施工後5年経過した堤防に、次のケースについて延べ24日間にわたり湛水試験を行った。

ケース1: 現状のままに湛水

ケース2: 堤外側で埋没しているサンドマットを露本させて湛水

ケース3: 完成断面で湛水

結果は、ケース1と2において、湛水後4~6時間で土のくぼみに水がたまる状態となってボーリング現象が始まり、40時間を経過すると水の流れる確認できる状態となった。ケース3においては、湛水後44時間経過して湿気のがり尻に現われる程度であった。

試験結果から、簡単な対策を施すことにより、安全

性の確保が出来ることと判断した。

IV) 設計方法に対する適否の確認

(A) くい的大力支持力計算方法に対して

くいの支持力の確認については、施工時のくい打止め貫入量から、AASHTO の式を用いて求めた極限支持力と、式(2)で計算した極限支持力を図-3にプロットしたが、この方法は妥当であると判断する。

また、くい沈下釣合係数を式(2)、(3)から $F_N = R_d / \rho_w$ として、これと実際の沈下量をプロットしたのが図-4であり、 $F_N \geq 1.0$ の関係でも沈下が起きているが、これは施工時に重機が搭載されること、土質評価等に不確定要素があるためのものと思われる。

(B) 鉄筋の所要寸法の計算方法に対して

盛土高さ $h = 3.4 \text{ m}$ 、くい間隔 $l = 1.5 \text{ m}$ 、鉄筋 13 mm に対し、鉄筋計の引張応力は最大で $1,400 \text{ kg/cm}^2$ を実測して、この方法の妥当性を確認した。

(C) 土木用シート計算方法に対して

設計上の荷重は 6.8 t/m^2 であるが、これに対して土圧計による観測結果 q を得て、この方法の妥当性を確認した。

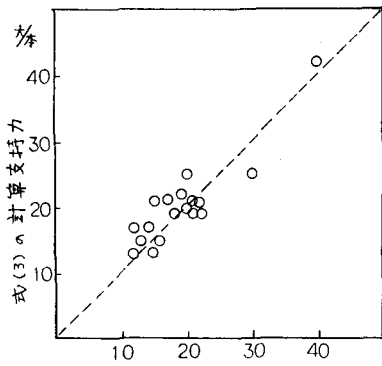


図-3

AASHTO 式の実支持力 q (kg/cm²)

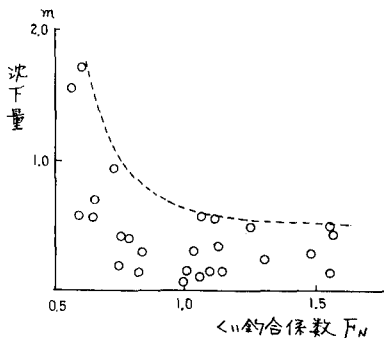


図-4

5. あとがき

石狩川の軟弱地盤のなかでも地盤条件の最も悪い幌向川などでは、旧来の緩速施工において、盛土高さ 3.6 m を確保するために、 4.8 m もの沈下量を記録したり、さらに盛土による地盤破壊、堤防破壊などにより河道の閉塞などを繰返していた時代からみると、今回のパイルネット工法の開発とサンドコンパクションパイルの実施により、急速な築堤工事が可能となり、河川事業の進捗に大きく貢献したものと云える。

また、これらの数多くの実績と経験から「泥炭性軟弱地盤における河川堤防の設計・施工指針⁵⁾」が策定され、調査、安定性の検討、対策工の検討、施工管理、維持管理の方法および指針が明確となり、とくに、地盤条件、盛土断面の配置、河道ならびに周辺地盤条件等の相互的因果関係が整理されて、有効的な地盤改良工法の選択がシステムチックに出来るようになったことなど防衛上及び学術上においても大きな成果を得たものと判断する。

参考文献

- 1) 工藤ほか：泥炭性超軟弱地盤における基礎処理について、1977.2 開発局技術研究発表会
- 2) デルツァギ、ペツフ：土質力学、基礎編、丸善発行、小野ら共訳、P152
- 3) 石狩川開発建設部に別事業所：幌向川築堤漏水試験工事報告書、昭和56年
- 4) 渡辺耕策著：1958、問題解決構造力学ポケット事典、理工学社、P16
- 5) 北海道開発局河川工事課編：泥炭性軟弱地盤における河川堤防の設計・施工指針、昭和57年5月、北海道開発協会