

表一 石狩川既往洪水の概要

洪水月日	種別	降 パ タ ー ン	代表地点雨量(mm)	流 () 量 (m ³ /s) はん 瀬 戻 し	被害額(億円) (昭56換算)	記 事
1898年 明31.9	台風		札幌 旭川 157 163	対雁(推) 5400	213	死者112人、浸水家屋16347戸、はん瀬面積410km ² 、※治水事業計画開始の契機となる。
1904年 明37.7	台風	全流域	札幌 旭川 176.7 150.7	対雁 (8292)	512	はん瀬面積461km ² 、※岡崎文吉博士によるはん瀬量の検討。
1922年 大11.8	台風	上流主体	旭川 札幌 142.5 74.9	美瑛川雨粉 忠別川曉橋 (980) (730)	149	浸水家屋8687戸、はん瀬面積383km ² 。
1932年 昭7.8~9	停滞性 低気圧	全流域	札幌9/4~9/6 旭川 76.2 102.0	対雁 (8272)	248	※小規模洪水が断続的に発生し、長期間浸水した。はん瀬面積694km ² 。
1961年 昭36.7	台風 前線	空知川主体	札幌 夕張 旭川 136.8 238 121.7	石狩大橋 赤平 4515 (6813) 3097	306	死者10人、浸水20217戸、はん瀬面積523km ² 。
1962年 昭37.8	台風	空知川上流 主体	札幌 富良野 旭川 203 170 95	石狩大橋 赤平 4410 (8145) 3915	435	死者7人、浸水12673戸、はん瀬面積661km ² 、※連年の記録的洪水となり流量改定の主因となった。
1975年 昭50.8	台風 前線	全流域	札幌 旭川 夕張 175 194 164	石狩大橋 橋本町 雁来 7530 (8620) 5730 1075	477	死者9人、浸水20423戸、はん瀬面積 外水108km ² 、内水165km ² 。
1981年 昭56.8上旬	台風 前線	全流域	札幌 旭川 岩見沢 294 297 410	石狩大橋 橋本町 赤平 11330 (12080) 5649 3154	960	死者1人、浸水22648戸、はん瀬面積 外水97km ² 、内水517km ² 。
1981年 昭56.8下旬	台風	豊平川主体	札幌 岩見沢 旭川 229 124 35	石狩大橋 橋本町 雁来 4332 2071 1417	128	死者1人、浸水12162戸、はん瀬面積 外水10km ² 、内水45km ² 。

11年に、豊平川捷水路が昭和16年に完成している。

石狩川の河岸土質をみると、河口から約60kmまでの下流部は粘性土で形成されており、そのため河岸決壊はおこりにくく、捷水路完成後においても平面的な河道変化は小さい。それに比して上流部は砂利質河道であるため河岸決壊が見られる。また規模の大きい捷水路では、河床勾配の急変により河床の異常低下が起こり、特にシルト質粘土の卓越する夕張川新水路では高さ約4mに及ぶ滝のような段差が生じ、1日5~7mの速度で上流に移動していったと記録されている。こういった異常低下は床止め工によって止められ、河道の安定が図られている。

捷水路掘削は初期には人力掘削、馬トロや馬ソリ運搬で開始され、すぐに蒸気掘削機(エキスカベーター)や蒸気機関車運搬に代えて進められた。浚渫は昭和初期より新鋭ポンプ船「昭和号」が使用され、工事の進捗に大きな力となった。戦後はドラグライン、ブルドーザー、スクレーパーやダンプトラックといった陸上機械やポンプ船で工事が実施されている。

これら一連の捷水路の完成により本支川ともに洪水の疎通能力は飛躍的に増大し、毎年のように起きていた融雪洪水はほとんどなくなった。また捷水路により河川水位が低下したため、周辺の湿原の地下水位が下がり、篠津、美唄原野などの広大な湿原が美田となる大きな要因となった。

4.2 築堤緩速施工

泥炭性軟弱地盤における盛土工法は、現在においても基本的に緩速施工が不変の原則である。これは地盤強度の限度内における盛土高を制限し、盛土荷重により地盤を沈下圧密させて地下水排除と強度増加を図った後、さらに一定

の限界盛高の盛土を繰り返す段階施工法である。いわば盛土と沈下の繰返し作業で、これまでの石狩川下流堤防の大半が本工法によって築造されたものといえる。

石狩川中下流部の捷水路の位置は、築堤法線も含めて泥炭地盤の中心部を通る事が多いため、その盛土は軟弱地盤との戦いであった。しかし未開の泥炭地であるが故に事業用地の取得に問題が少なかったこともあって、盛土断面も広い範囲にとり、荷重を分散させることも可能であった。また泥炭地特有の圧密沈下あるいは側方流動的なすべり破壊が生じてても、河道内隆起が生じない限り再盛土を強行することが可能で、これらの地域の堤防は盛り上がるまでに見かけの数倍の盛土量が投入されているものが多い。施工は捷水路と併行して掘削土を利用しながら行われたものが多く、暫定断面を確保するのに10年以上の時間を要した地区が大半である。

この制限盛土工法はあくまでも地盤の強度に関連し、泥炭性軟弱地盤の中で問題となる地域の平均的強度 $q_c=1.0\sim2.0\text{kgf/cm}^2$ に対し盛土高さのこれまでの実績は $h=2.0\sim2.5\text{m}$ 程度である。沈下と盛土量の確認については常に問題があり、特に築堤工事が請負になってからは沈下板の設置や検収方法の工夫がなされている。

4.3 急速施工の開始と基礎処理

昭和36、37年の連年にわたり石狩川を襲った洪水は石狩川流域に大きな被害をもたらしたが、その主たる原因は堤防の不連続であり、石狩川治水の遅れを象徴する「無堤地区」がクローズアップされることとなった。この洪水を契機に石狩川の治水事業は「無堤地区の解消」をスローガンとして予算的にも大きな伸びをみせ、施工も築堤が中心と

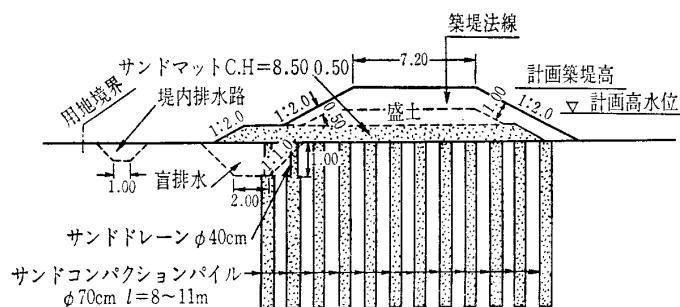


図-2 サンドコンパクションパイル工法施工図

なってきた。特に中下流部の泥炭地域では計画高水位までの暫定断面を目標にピッチを上げ、また施工法もそれまでの機関車運搬等からトラック運搬に切り替わっていった。これらの状況の中で泥炭地域の築堤施工は否応なしに急速施工、すなわち一定目標期間内の施工高の確保が求められることになった。この結果急速な盛土による大きな圧密沈下や側方流動、既設堤を含めたすべり破壊による陥没などの問題が各地に発生し、対策工法が必要となった。

基礎地盤処理工法としては昭和29年にサンドパイル工法を月形橋付替え道路において実施している。当時は打込み機械がまだ発達していなかったため、ポンプ浚渫船の排砂管を利用して打設したといわれ、これがいわば北海道の河川事業における近代基礎処理工法の始まりといえる。昭和40年に豊平川支流の月寒川、望月寒川が直轄工事区間に編入された際に、サンドコンパクションパイル工法による試験工事を実施し、昭和44年度からその検証結果をもとに、急速施工による基礎処理が本格的に実施された。また同年に清真布川、産化美唄川でもサンドドレーン工法が実施され、幌向川（S47～48年）、加茂川（S48～51年）、大曲右岸（S49～52年）ではサンドコンパクションパイル工法が用いられた。このほかにもシート工法（対雁、篠津、幌向川築堤、S48～50年）、切込み砂利セメントパイル工法（第一幹川、S48～50年）が実施され、軟弱地盤の基礎処理工法は築堤進捗のための要件として着実に拡大されていった。

4.4 激特事業と新工法の開発

石狩川の洪水史の中で、昭和50年の大洪水はその被害規模、社会的影響とともに治水史上で重要な意味を持つものであった。それまでの洪水は無堤地区からのはん濫が主であったが、50年洪水のそれは築堤の沈下部からの溢水破壊であり、まさに治水事業の効果を問われるものとして内外に衝撃を与えた。

この大災害後の治水対策についての暫定目標が本川34kmおよび支川52.5kmに対し「激甚災害対策特別緊急事業」として指定された。この事業の整備目標は、おおむね5箇年で軟弱地盤上の堤防を計画高水位プラス0.5mに暫定完成させる

ものであり、このため石狩川下流部の弱点であった泥炭性軟弱地盤地域における築堤の急速施工が至上命令となった。

従来多く用いられていたサンドコンパクションパイル工法は、支川等の河道幅の狭い区間や堤防かさ上げに伴う堤内側敷地の民地との余裕のない区間において、施工段階での締固め振動の影響や急速な地盤の圧密沈下、これに伴う側方塑性流動による低水路への押出しや民地の隆起が大きなネックとなっていた。激特事業の円滑な推進のためには、この基礎処理工法の改良あるいは新工法の開発が緊急な課題であった。

このため昭和50年後半より試験工区を設けて、サンドコンパクションパイル工法の改良などの試験工事が実施された。この中から考案されたのがパイルネット工法（図-3）であり、施工性が良く盛立て後の地盤変位が少ないなどの優位性から、51年以降地盤支持力の低い区域および支川狭少河道等約30.0kmに及ぶ区間で施工され、激特断面の完成に大きな効力を発揮した。

また最近では軟弱地盤土と注入固定材を原位置で混合してパイル状のものを造成する「深層混合処理工法」と呼ばれる地盤強化工法が数多く開発され、用いられている。さらに生石灰の吸収、膨張、発熱作用を利用して地盤改良をする方法も用いられており、特に粘性土地盤に効果があるとされている。

4.5 洪水の分散と丘陵堤

昭和50年災害からわずか6年後に起こった昭和56年8月の洪水は、全道的に従来の記録を更新する史上最大の降雨によるものであり、空前の被害額となって地域に及ぼす打撃は極めて大きいものであった。石狩川では流域平均雨量232mm、基準点ピーク流量（石狩大橋はん濫戻し）12080m³/sと従来の計画雨量（175mm）、計画流量（9000m³/s）を大幅に上回り、工事実施基本計画の改定を余儀なくされた。

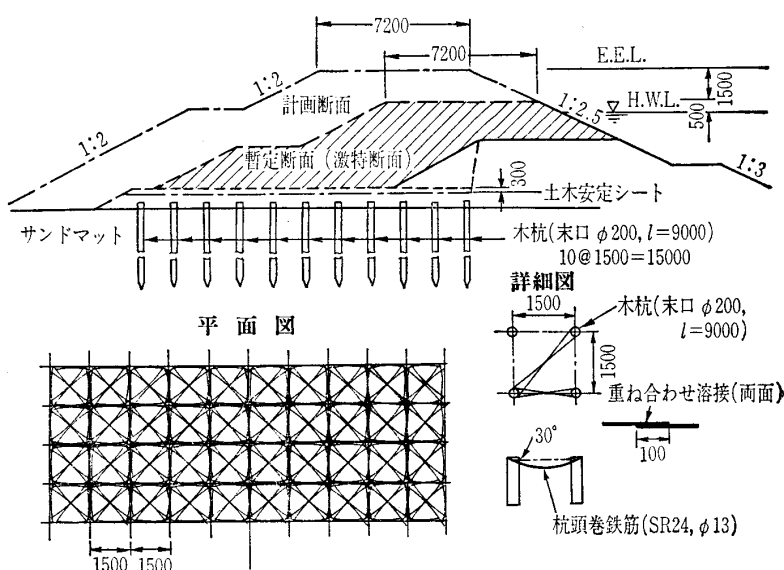


図-3 パイルネット工法定規図

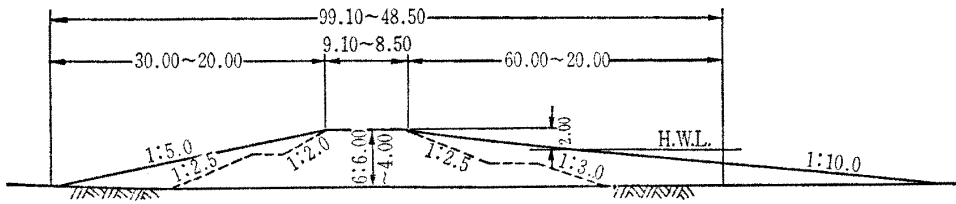


図-4 丘陵堤標準図

基本計画の改訂にあたっては下流部の軟弱地盤上の築堤かさ上げの困難性等も考慮され、従来の河道流下能力の拡大やダム貯留に加えて中下流部の遊水池や千歳川放水路等、これまでの洪水対策と異なった計画が採用された。これは下流基準点のピーク流量 $18000 \text{ m}^3/\text{s}$ のうち $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ をダム群、遊水池群、千歳川放水路によって調節し、また下流都市部では流域保水機能の確保を進めるなど、石狩川の改修計画の一大転換をなすものとなった。

河川改修については流下能力の増大のために河道内の掘削、浚渫、堤防の拡築等が必要であり、計画では全体で約 2 億 m^3 の掘削土量が発生することになる。その残土処理と軟弱地盤対策を兼ねて、昭和56年度から56年災害に伴う激特事業の一環として丘陵堤（図-4）が実施されている。

丘陵堤とはのり勾配が5～10割の大断面堤防の名称であり、このような堤防では大量の盛土を必要とするが、石狩川の場合は掘削土を利用して経済的に築造することができる。丘陵堤には泥炭層上の押さえ盛土や基礎処理を必要とする区間、および地形が低平で洪水時間が長く漏水やのりすべりの危険がある区間に対し、強度不足を補う効果がある。さらにのり勾配が緩いので、景観を向上させるとともに堤内外の隔たりを緩和する環境上の効果もあり、近年本格的にとり入れられ始めている。

5. 堤防構造物の漏水対策

河川の連続堤が概成するに伴い、一方で堤防自体の安全度が重要な課題になってきている。堤防の築造経過や施工条件の変化、あるいはコンクリート構造物の介在により、一連の堤防はどうしても不均質となり一定の安全度を有していない。

石狩川下流のように軟弱地盤上に高い堤防が築かれていたり、ショートカットにより旧河道の透水性地盤上に築堤がなされている場合は、堤防の基盤や河川構造物に関わる漏水災害が発生しやすくなる。特に樋門や樋管等の河川構造物については、軟弱地盤の場合は不同沈下の影響、透水性地盤の場合は水みちの構造物付近への集中が大きな被災要因となる。近年関係機関がこれらについて鋭意調査研究を進めており、その概要を紹介する。

5.1 河川構造物漏水の要因と過程

河川構造物漏水が発生する主要因と過程をフローにしたものが図-5である。これらの主要因が複合する場合、あ

るいは施工時のマイナス要因が加わる場合はさらに漏水の危険度は高くなる。

5.2 地中内応力の動向

軟弱地盤上に設置された構造物には、一般的に鉛直方向の圧縮力となる盛土荷重が、不同沈下の影響により設計上考慮して

いない種々の方向の応力として作用するものと考えられる。

図-6にこれらの応力動向の推定図を示す。④は鉛直荷重が作用する部分。⑤は沈下に伴うせん断破壊層の発達によるせん断力と引張り力が作用する部分であり、構造物の幅が広い場合や盛土高が小さい場合にクラックや空洞が発生しやすい。⑥は構造物側面～隅角部土層のせん断破壊層の発達の影響により引張り力が作用する部分で、構造物の幅が狭い場合や盛土高が大きい場合にクラックが入りやすい。

④は構造物と地盤の沈下量の差異が主としてせん断力となって作用し、差異が大きい場合は構造物から土層を引き離そうとする引張り応力が作用する部分である。⑥は構造物の底版下付近で周辺の沈下によりとも下がりする部分と考えられ、止水矢板や摩擦杭に下層の圧密沈下による粘着力や摩擦力が下向きの応力となって作用する。

5.3 河川構造物漏水調査

樋門・樋管等の構造物周辺の漏水調査にあたっては、既存の調査、設計、施工および災害履歴などのデータを收集整理する必要がある。現地調査のポイントとしては、①堤

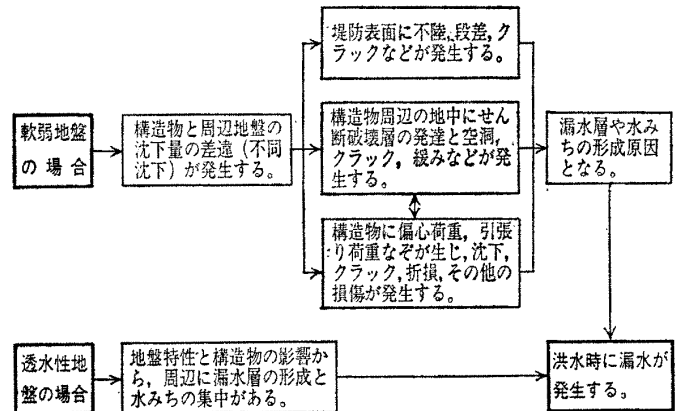


図-5 河川構造物の漏水過程図

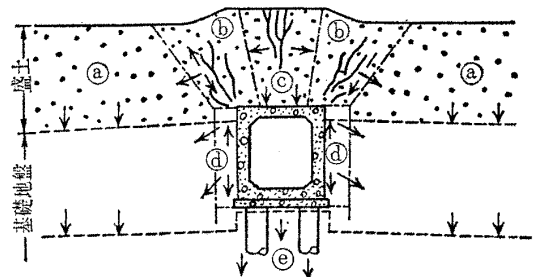


図-6 地中内応力動向推定図

防や不同沈下状況とそれによる障害, ②構造物の沈下, 破損やクラックなどの状態, ③構造物の接続部の変状, ④漏水コン跡や水みち等, ⑤土質や土層の変化状況などがあげられる。

調査の目的や作業の内容により, 調査レベルを以下のように分けることができる。

i) 現地概略調査

外観観察, 簡易な測量や土質調査などによる現場の状態把握。

ii) 土層等概略調査

サウンディング, サンプリング, 測量, 調査孔を利用した土質調査などによる構造物の損失状況や周辺の土質状況の把握。

iii) 土層等詳細調査

ボーリング, ピット開削, 動態調査などによる構造物と土層の状況の把握。

iv) 開削調査

構造物の周囲を部分的または全面的にスライス法またはベンチカット法で開削し, 各開削段階ごとに土層や構造物の状況を詳細に調査。

5.4 対策工法

漏水対策としては構造物設置の事前対策, 構造物との同時施工による対策および既設構造物に対する2次対策がある。事前の対策としては良質土との入換え等の置換工法やプレローディング工法のほか, 前述した種々の基礎地盤改良工法があげられる。また同時施工によるものとしては鋼矢板等による遮水壁工法, く体自体の不同沈下による離脱や開口に対処する可とう性継手や止水板, 水路との取付け部における洗掘防止矢板, 堤防表面の強化としての遮水護岸や地表面安定処理等がある。

既設構造物の周辺に異常が発生した場合の2次対策工法については以下のようなものがあり, 現場状況に従って使用される。

i) 空洞充填工法

空洞, クラックの充填により止水性を高める。

薬液注入工法, グラウト工法, 小口径推進工法

ii) 地盤強化対策工法

構造物周辺の地盤を強化して沈下を軽減する。

薬液注入工法等

iii) 構造物被害拡大防止対策

構造物周辺の止水性や強度を保たせる。

遮水壁工法, 遮水護岸等

iv) 構造物維持管理手法

構造物自体の瑕疵や破損を補修する。

コンクリート打替え工法, 止水壁拡大工法, 止水板の補修, パテ工法

6. あとがき

治水事業と土質との関わりは非常に大きい。元来治水工事は河道の掘削, 浚渫, 築堤といった土工が中心であり, 上流の多目的ダムにロックフィルタイプが用いられることもある。また築堤だけに限っても, 材料の選定と締固め, 堤体漏水対策, 透水性地盤の対策, 護岸との関連などさまざまな問題がある。今回の報告は北海道の地域性に重点をおき, 治水事業の軟弱地盤対応に焦点をしばって記述した。今回誌面の都合で割愛した事項も含め, 現在もさまざまな検討が道内の研究機関や現場で行われており, 試行錯誤の中から, 設計施工技術の向上や新技術の開発が図られている。

参考文献

- 1) 館谷 清・山口 甲: 北海道の治水, pp.241~244, pp.280~282, 1987.
- 2) 北海道開発協会: 石狩川治水史, pp.670~680, 1980.
- 3) 国土開発調査会: 石狩川, pp.8~11, pp.23~36, pp.61~95, 1987.
- 4) 建設産業調査会: 軟弱地盤ハンドブック, pp.1141~1164, 1989.
- 5) 北海道河川防災研究センター: 河道設計論, pp.212~214, 1989.
- 6) 北海道開発局土木試験所河川研究室: 河川構造物漏水調査のてびき, pp.2~16, 1986.
- 7) 北海道開発局: 漏水対策工設計施工指針(案): pp.1~9, pp.51~68, pp.120~132, 1984.
- 8) 瀬川明久・小林伸行・渡辺和好: 河川構造物と不同沈下対策, 第29回北海道開発技術研究発表会論文集, pp.342~350, 1985.
- 9) 小林伸行・許土達広・及川正則: 河川構造物周辺の変状実態と漏水診断, 第32回北海道開発局技術研究発表会講演要約集(3), pp.193~200, 1989.