

北海道の地盤と防災

(試読用サンプル版)

購入希望はこちらから



公益社団法人 地盤工学会北海道支部

北海道の地盤災害と防災技術に関する研究委員会

北海道の地盤災害と防災技術に関する研究委員会 名簿

委員長	石川 達也	北海道大学大学院 工学研究院
幹事委員	川端伸一郎	北海道科学大学 工学部
委員	石原 基嗣	東日本高速道路(株) 北海道支社 技術部
委員	海部 友和	(株)構研エンジニアリング 地質部
委員	川口 貴之	北見工業大学 工学部
委員	川尻 峻三	北見工業大学 工学部
委員	川村 志麻	室蘭工業大学大学院 工学研究科
委員	工藤 康雅	北海道士質コンサルタント(株)
委員	所 哲也	北海学園大学 工学部
委員	中村 哲也	(株)構研エンジニアリング 防災施設部
委員	西村 聡	北海道大学大学院 工学研究院
委員	橋本 聖	土木研究所寒地土木研究所 寒地地盤チーム
委員	林 啓二	宮坂建設工業(株) 札幌支社 技術品質推進部
委員	林 宏親	土木研究所寒地土木研究所 寒地地盤チーム
委員	松田 圭大	北海道科学大学 工学部
委員	森田 恵弘	清水建設(株) 北海道支店 土木技術部
委員	山内 智	(株)ネクスコ・エンジニアリング北海道 土木事業部
委員	山木 正彦	土木研究所寒地土木研究所 寒地地盤チーム
委員	鈴木 隆 (R1.6まで)	東日本高速道路(株) 北海道支社 技術部
委員	村山 陽 (H30.6まで)	東日本高速道路(株) 北海道支社 技術部

「北海道の地盤と防災」 協力執筆者 名簿

伊東 佳彦	北電総合設計(株) 土木部
松岡 直基	(株)北海道気象技術センター

所属は令和4年3月現在（旧委員は委員当時）

北海道の地盤と防災 執筆者 名簿

第1章 主査 松田 圭大

- 1.1 川村 志麻, 川尻 峻三, 川口 貴之, 林 宏親
- 1.2 石原 基嗣, 松田 圭大, 山木 正彦
- 1.3 川端伸一郎

第2章 主査 所 哲也

- 2.1 伊東 佳彦
- 2.2 林 宏親, 川村 志麻, 森田 恵弘
- 2.3 松岡 直基, 川端伸一郎

第3章 主査 川村 志麻

- 3.1~3.3 川村 志麻
- 3.4, 3.8 西村 聡
- 3.5 林 宏親
- 3.6~3.7 森田 恵弘

第4章 主査 川尻 峻三

- 4.1 川尻 峻三, 石川 達也
- 4.2, 4.3 川尻 峻三, 中村 哲也
- 4.4 川尻 峻三, 中村 哲也, 松田 圭大
- 4.5 川尻 峻三, 中村 哲也, 石原 基嗣, 鈴木 隆, 山内 智

第5章 主査 川口 貴之

- 5.1 川口 貴之
- 5.2~5.9 林 啓二
- 5.10~5.13 石原 基嗣, 山内 智

第6章 主査 林 宏親

- 6.1 林 宏親
- 6.2 海部 友和, 工藤 康雅, 林 宏親
- 6.3 橋本 聖

第7章 主査 石川 達也

- 7.1 川村 志麻
- 7.2 川尻 峻三
- 7.3 川口 貴之
- 7.4 林 宏親
- 7.5 石川 達也

まえがき

従来、地盤工学分野では、実務の設計・施工において力学的な解釈や評価が通常の砂質土や粘性土と同じ範疇では議論することが難しい土を、普通ではない土、あるいは問題のある土の意味合いから「特殊土 (problematic soils)」と呼称してきた。北海道各地には、泥炭や火山灰質土に代表されるいわゆる特殊な地盤が広く分布し、各種地盤災害の素因になっているが、道内の特殊土地盤の特性を論ずるには、北海道の気象および地形・地質環境との関係を切離して考えることはできない。例えば、北海道は本州地域と比べて高緯度地方に位置し、過去に何度かの氷河期を繰返し、日高山脈をはじめとして氷河の痕跡が見られ、高度の低い山地・丘陵においても、周氷河現象の一つである凍結・融解の反復による岩石の破壊が進行し、その結果、地盤表層にルーズな堆積物が広く分布している。また、寒冷な気象環境は、凍結・凍上や凍結融解の繰返しによる地盤材料の力学的性質の劣化の直接的な原因となるだけでなく、未分解の植物繊維を多量に含む泥炭の成因と密接に関係している。加えて、北海道はその地史的特徴から多数の火山を擁し、火山灰質土が道内に広く分布している。このように、特殊土の分布形態や起源には強い地域的特殊性があり、積雪寒冷地であることや地震・火山活動の多いことは、北海道の土質と地盤特性を考える上で欠かせない要因である。

他方、地震や寒冷な気象環境は地盤災害の誘因にもなる。例えば、我が国は環太平洋変動帯に属し、世界的に見ても地形的・地質的に地震被害を受けやすい国土であり、北海道周辺では、日本海溝・千島海溝沿いで大地震が繰返し発生し、道内の広範囲に地盤災害をもたらしてきた経緯がある。また、積雪寒冷地である北海道では、地盤の凍上・凍結融解や融雪が誘因と考えられる地盤災害が凍結期・融雪期に数多く発生しており、近年は、極端かつ局所的な豪雪や、降雪初期や融雪期に繰り返される凍結・融解、積雪上に大雨が降るレイン・オン・スノーといった現象の増加が積雪寒冷地特有の地盤災害リスクを高めている。加えて、最近では気候変動に伴う異常気象により、従来降水量が少なかった北海道においても頻繁に観測記録を更新する豪雨が観測され、様々な地盤災害を引き起こしている。特に、北海道は、これまで台風や豪雨などの影響が小さく降雨による土砂災害が国内他地域と比較して少なかったことから、雨慣れ（降雨に対する土砂災害の慣れ）していない地盤が多い。このため、北海道は地盤の災害免疫力が低く、大雨が発生した場合、発生頻度の増加とともに、災害規模の拡大・深刻化が懸念される。このように、北海道では、各種誘因で様々な形態の地盤災害が発生しているが、複数の誘因が影響する複合地盤災害への備えも近年重要性を増している。過去に発生した複合地盤災害の例として、厳冬期に発生した平成5年(1993年)釧路沖地震の地盤災害を本書でも取り上げられているが、気候変動に伴い地盤への降雨の影響が従来以上に強まる環境下では、平成30年(2018年)北海道胆振東部地震で観測された豪雨後の地震発生に伴う斜面災害など降雨と地震が相互干渉する複合地盤災害への備えも、気候変動の影響を受け易い気候変動脆弱地域である北海道における喫緊の検討課題である。

(公社)地盤工学会北海道支部では、昭和31年(1956年)の創設以来、特殊土、寒冷気候、地震、降雨、気候変動などが素因・誘因となり北海道内で発生した各種地盤災害について、産官学の委員からなる災害調査団や研究委員会を随時設立して被害状況と復旧状況に関する調査を行い、発災原因・発災機構の学術的究明と災害の早期復旧並びに防災・減災技術の向上について精力的に検討してきた。その過程で得られた知見・経験に基づき提案・開発されたハード・ソフト的防災・減災対策の中には、以降の災害時にその有用性が検証されたものも少なくない。このため、北海道における過去の地盤災害の被災・復旧の記録を紐解き、先人研究者・技術者が積み上げてきた被災原因や発災機構の学術的な証左や地盤災害の防止・軽減に有効な試みを知ることは、近い将来に北海道で発生する可能性のある地盤災害に備えるために極めて重要である。このような状況を踏まえ、(公社)地盤工学会北海道支部では、北海道で発生する様々な自然災害から将来に亘って人々のくらしを守ることを目的として、平成29年(2017年)5月に「北海道の地盤災害と防災技術に関する研究委員会」を設立し、北海道における過去の地盤災害事例や対策方法に関する情報収集とその整理を包括的に行ってきた。本書は、北海道の地域性を重視し、対象とする地盤災害を「地震による災害」、「豪雨による災害」、「寒冷・凍結融解による災害」、「泥炭地盤による災害」に絞り込み、4年間の委員会活動によって得た情報を体系的にとりまとめたものである。地震活動の活発化、気候変動に伴う気象条件変化、各種開発による土地利用形態変化などの地盤環境を取り巻く環境条件変化が激しさを増している近年、災害の少ないより安心安全な未来をつくるための研究・技術的課題は山積している。本州など国内他地域と北海道との土質や地盤特性および気象・地形・地質条件の違いを再認識し、地域特性を考慮した地盤災害の現象論的解明と北海道特有の事象を俯瞰した合理的な災害対策の構築を目指すために、あるいは環境条件変化に伴い変質する地盤災害の潜在的な被災危険度について検討し、近い将来に発災する可能性のある未曾有の地盤災害に備え、我々地盤研究者・技術者は今何をなすべきなのかを過去の地盤災害の教訓をもとに考えるために、本書を活用いただきたい。本書が北海道を含む国内の今後の地盤災害研究の進展と防災・減災技術の発展の一助になれば幸いである。

最後に、本書の作成にあたりましては、委員各位をはじめ、委員以外にも産官学の多くの方々・機関より様々な御助力を賜りました。ここに深甚な謝意を表します。

2022年8月

公益社団法人 地盤工学会北海道支部
北海道の地盤災害と防災技術に関する研究委員会
委員長 石川 達也(北海道大学大学院 教授)

【目次】

第1章 序論	1
1.1 北海道と地盤災害	1
1.1.1 はじめに	1
1.1.2 地震による地盤災害	1
1.1.3 豪雨による地盤災害	1
1.1.4 寒冷および凍結融解による地盤災害	1
1.1.5 泥炭地盤による地盤災害	1
1.2 北海道の社会資本整備と地盤災害	2
1.2.1 はじめに	2
1.2.2 高速道路網の整備	2
1.2.3 河川整備	6
1.2.4 港湾整備	9
1.2.5 空港整備	9
1.3 北海道における近年の自然災害	10
【参考文献】	10
第2章 北海道の地域特性	12
2.1 北海道の地質	12
2.1.1 はじめに	12
2.1.2 北海道の地質形成史	12
2.1.3 北海道の地質区分	13
2.1.4 北海道の地質概要	14
2.2 北海道の地盤	16
2.2.1 はじめに	16
2.2.2 泥炭	17
2.2.3 火山灰質土	20
2.2.4 溶結凝灰岩	26
2.2.5 蛇紋岩	27
2.2.6 花崗岩風化土「まさ土」	28
2.2.7 泥岩	30
2.2.8 酸性硫酸塩土壌	31
2.3 北海道の気象	32
2.3.1 はじめに	32
2.3.2 降雨	32
2.3.3 凍結指数	36
2.3.4 積雪量	38
【参考文献】	41
第3章 地震による地盤の災害	44
3.1 はじめに	44
3.2 1968年十勝沖地震	45
3.2.1 概説	45
3.2.2 港湾・空港の被害	45
3.2.3 河川堤防の被害	47
3.2.4 鉄道の被害	47
3.2.5 道路の被害	48
3.2.6 宅地盛土の被害	48
3.3 1982年浦河沖地震	49

3.3.1	概説	49
3.3.2	港湾・空港の被害	50
3.3.3	河川堤防の被害	52
3.3.4	鉄道の被害	52
3.3.5	道路の被害	53
3.3.6	宅地造成盛土およびその他の斜面災害被害	53
3.4	1993年釧路沖地震	53
3.4.1	概説	53
3.4.2	港湾・空港の被害	54
3.4.3	河川堤防の被害	55
3.4.4	鉄道の被害	56
3.4.5	道路の被害	57
3.4.6	宅地盛土の被害	59
3.5	1993年北海道南西沖地震	60
3.5.1	概説	60
3.5.2	道路の被害	61
3.5.3	鉄道の被害	62
3.5.4	港湾・空港の被害	62
3.5.5	河川堤防の被害	63
3.5.6	農業施設の被害	63
3.5.7	住宅地の被害	63
3.6	1994年北海道東方沖地震	64
3.6.1	概説	64
3.6.2	地震と地震動特性	65
3.6.3	被災事例	66
3.6.4	防災対策事例	71
3.7	2003年十勝沖地震	72
3.7.1	概説	72
3.7.2	地震と地震動特性	73
3.7.3	被災事例	75
3.7.4	防災対策事例	81
3.8	2018年北海道胆振東部地震	82
3.8.1	概説	82
3.8.2	住宅地の被害	82
3.8.3	自然斜面崩壊	85
3.8.4	港湾の被害	88
3.8.5	国道・河川堤防の被害	89
	【参考文献】	91
第4章 豪雨による地盤の災害		95
4.1	はじめに	95
4.2	昭和56年8月豪雨（56水害）	95
4.2.1	気象概要	95
4.2.2	被災の概要・事例	95
4.2.3	対策事例	96
4.3	平成26年8月豪雨	97
4.3.1	気象概要	97
4.3.2	被災の概要および事例	98
4.3.3	復旧・対策事例	100
4.4	平成26年9月支笏豪雨	101
4.4.1	気象概要	101
4.4.2	被災の概要および事例	101

4.4.3 復旧・対策事例	104
4.5 平成28年8月北海道豪雨	105
4.5.1 気象概要	105
4.5.2 被災の概要および事例	105
4.5.3 復旧・対策事例	116
【参考文献】	118

第5章 寒冷および凍結融解による地盤の災害	120
5.1 はじめに	120
5.1.1 北海道の気象特性	120
5.1.2 災害メカニズムと対策の概要	121
5.2 積雪寒冷地の盛土道路における路肩部の変状	124
5.2.1 被災状況	124
5.2.2 被災要因・機構	124
5.2.3 対策工の概要	125
5.3 寒冷地道路の路床の支持力不足による路面のクラック	126
5.3.1 被災状況	125
5.3.2 被災要因・機構	125
5.3.3 対策工の概要	128
5.4 切土のり面に敷設した植生マットの融解期の崩壊	129
5.4.1 被災状況	129
5.4.2 被災要因・機構	130
5.4.3 対策工の概要	131
5.5 融解期に発生した切土のり面表層崩壊	132
5.5.1 被災状況	132
5.5.2 被災要因・機構	133
5.5.3 対策工の概要	134
5.6 冬期施工した切土のり面と小段部の変状	135
5.6.1 被災状況	135
5.6.2 被災要因・機構	135
5.6.3 対策工の概要	137
5.7 地山横断勾配の相違が盛土のり面の変状規模への影響	140
5.7.1 被災状況	140
5.7.2 被災要因・機構	140
5.7.3 対策工の概要	141
5.8 融解期における切盛境部の盛土崩壊	141
5.8.1 被災状況	141
5.8.2 被災要因・機構	142
5.8.3 対策工の概要	142
5.9 少雪寒冷地の道路路肩部に発生する特異な凍上被害	143
5.9.1 被災状況	143
5.9.2 被災要因・機構	144
5.9.3 対策工の概要	147
5.10 融雪水浸透に伴う切土法面大規模土砂崩壊	147
5.10.1 被災状況	147
5.10.2 被災要因・機構	147
5.10.3 対策工の概要	149
5.11 寒冷地の高速道路切土部で発生した路面の不陸	149
5.11.1 被災状況	149
5.11.2 被災要因・機構	150
5.11.3 対策工の概要	150
5.12 寒冷地の高速道路トンネル内で発生した路盤の凍上	151

5.12.1	被災状況	151
5.12.2	被災要因・機構	151
5.12.3	対策工の概要	152
5.13	寒冷地の高速道路で発生した火山灰質粗粒土の切土部路床の路面凍上	153
5.13.1	被災状況	153
5.13.2	被災要因・機構	153
5.13.3	対策工の概要	154
	【参考文献】	154
第6章	泥炭地盤による災害	156
6.1	はじめに	156
6.2	泥炭地盤の広域沈下	157
6.2.1	広域沈下の定義	157
6.2.2	広域沈下の観測事例	157
6.2.3	地下水位の変動と広域沈下	166
6.3	地震による盛土の被害	170
6.3.1	被害事例	170
6.3.2	被災のメカニズムと対策	175
	【参考文献】	182
第7章	自然災害から地盤を守るために	184
7.1	地震に対する防災に向けて	184
7.2	豪雨に対する防災に向けて	184
7.3	寒冷および凍結融解に対する防災に向けて	185
7.4	泥炭地盤に対する防災に向けて	186
7.5	おわりに	186
	【参考文献】	188
付録 道路・凍上調査写真集		

第1章 序論

1.1 北海道と地盤災害

1.1.1 はじめに

北海道では古くから、地震や火山活動、地盤の凍上や凍結融解に起因した地盤災害が多く発生している。また、近年の異常気象によって、北海道においても台風や集中豪雨等に伴う地盤災害が多発している。

ここでは、本書で取り扱っている①地震による地盤災害、②豪雨による地盤災害、③寒冷および凍結融解による地盤災害、④泥炭地盤による地盤災害について概説する。

1.1.2 地震による地盤災害

北海道は、平成30年の北海道胆振東部地震をはじめ、過去に多くの巨大地震が発生し、それによって甚大な被害に見舞われてきた。過去50年間北海道内・その周辺で発生した地震の震源に着目すると、千島海溝沿いを震源とする地震が多いことが、その特徴としてあげられる。令和2年度の文部科学省の地震調査研究推進本部の報告¹⁾によると、「日本海溝・千島海溝沿いの超巨大地震の発生が切迫している可能性が高い」と指摘されており、これを受けて、北海道防災会議では防災対策の見直しが検討されている。

本書は、今後の地震災害に対する防災対策への一助とするため、1968年以降に発生した1968年十勝沖地震、1982年浦河沖地震、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、2003年十勝沖地震、2018年北海道胆振東部地震を対象に、液状化被害をはじめ、斜面崩壊などの地盤被害ならびに構造物被害を概説している。また、対策工が行われているものについては、今後の地盤災害対策の参考資料になるよう記述するようにした。

1.1.3 豪雨による地盤災害

北海道は、他の地域と比較して梅雨前線や台風の影響が少ない。北海道の主要都市の年間降水量は1000mm程度あり、他の地域よりも降雨量が少ないことは歴然である。そのため、過去に発生した降雨による地盤災害の頻度は本州・四国・九州・沖縄よりも少ない。しかし、降雨量が少ないがために地盤

構造物の降雨に対する災害免疫力が低いため、数十年や数百年に一度の降雨が発生した場合には、甚大な地盤災害が発生している。

本書では、地震による地盤災害と同様に今後の豪雨に対する防災・減災対策への一助となる情報として、昭和56年(1981年)に発生した56水害以降の降雨災害について、河川堤防、斜面崩壊、道路構造物被害などの地盤構造物の被害状況について当日の気候条件とともに概説している。また、被災後の対策工については、その実施状況が確認されている地点については今後の地盤災害対策の参考となるように記述している。

1.1.4 寒冷および凍結融解による地盤災害

北海道のほぼ全域は亜寒帯に属しているため、地域によって差異はあるものの、冬季には降雪・積雪が観測されるとともに、地盤も凍結する。このとき、条件が揃えば土や岩は凍上し、これに伴う凍上力や凍着凍上力が道路等の地盤構造物に被害をもたらす。また、地盤の凍結融解そのものや、これに伴う土中水分の上昇によって地盤は脆弱化するため、ここに雨水や融雪水が供給されることでも、各種地盤構造物は被害を受ける。

北海道内では、このような地盤の凍結融解に伴う各種地盤構造物の被害が毎年のように見られるが、本書では地盤災害の一つとして扱うこととし、第2章で凍結指数等の気象特性について概説した後、災害メカニズムや被災とその対策に関する詳細事例については、第5章「寒冷および凍結融解による地盤の災害と防災」で詳しく述べている。

1.1.5 泥炭地盤による地盤災害

ヨシやスゲなどの湿性植物の遺骸が、低温あるいは多湿の環境下において多年にわたり分解が不十分なまま堆積してできた土を泥炭と呼んでいる。北海道では、火山灰質土などと並ぶ代表的なローカルソイルである。

泥炭は高有機質で極めて軟弱な土であり、泥炭地盤に盛土や構造物などを築造すると、供用後も続く大きな沈下やすべり破壊などの問題が生じるが、いわゆる地盤災害とは性質を異にするため、本書では第2章において概論にとどめて記述する。本書の主

たるテーマである地盤災害のうち泥炭地盤に起因するものには、泥炭地盤の広域的な沈下と地震による泥炭地盤上の盛土被害が挙げられる。この2点については、第6章「泥炭地盤による災害と防災」において詳しく述べる。

1.2 北海道の社会資本整備と地盤災害

1.2.1 はじめに

社会資本は、災害による人的被害や経済被害を最小限にとどめ、経済活動を維持するとともに、災害時における救援活動や復興作業等を迅速に進めるうえでも重要な役割を果たしている。

ここでは、北海道における社会資本の整備状況について、地盤災害と関連付けて紹介する。ただし、鉄道に関しては、民間の鉄道事業者であるJR北海道が運営・管理を行っていることや情報の公開状況等を踏まえ、各章で個々の災害事例について触れる程度として、ここでは取り扱わないこととした。

1.2.2 高速道路網の整備

北海道には、1,183km（令和2年（2020年）度末時点）の高規格幹線道路^{※1}と約90,000kmの一般道路がある。一般道路のうち、一般国道が約6,000km、道道が約12,000km、市町村道が約71,000kmとなっている。

北海道は、国土の約2割を占める広大な地域に都市が散在する、広域分散型の社会を形成しており、日常生活や経済活動の充実には、高速交通ネットワークの構築が極めて重要である。そのため、高規格幹線道路の整備は地域に強く求められているものの、北海道における開通状況に着目すると、北海道を除く全国では開通率（総延長に対する開通延長の割合）が約90%に対し北海道は約65%にとどまっている（令和2年（2020年）度末時点）。また高規格幹線道路の未着手割合では総延長に対して約23.2%であり、北海道を除く全国の割合約3.5%と比較して未だ不十分な状況にある（令和元年（2019年）度末時点）。

一方で、北海道は自然環境が厳しいことが知られている。道東圏の太平洋側は北米プレートと太平洋プレートの境界付近に位置し、過去に多くの大規模地震に見舞われた歴史がある。道央圏や道北圏では国内有数の豪雪地帯も存在するため、融雪期の斜面災害などが問題となりやすい。日本海側では冬期の

強風等により視程障害も多く、事故等の課題が多い。道央圏から道東圏の内陸部は特に寒冷で積雪も比較的少ないことから、凍上による舗装やのり面の損傷が多く見られる。

北海道の地盤に着目すると、全面積の約40%を覆う火山灰質土や、北海道平野面積の約6%（約2,000km²≒東京都面積）ではあるが、道央や道北、道東の河口域に広く分布する泥炭地盤が従前から工学的に問題となることが多い。その他、スレーキング性が顕著な泥岩なども全道に分布し、また近年では、平成28年北海道豪雨災害で被災した国道274号（日勝峠）の道路盛土（崩土）から採取した試料が、北海道ではあまり見られないいわゆる「まさ土（風化花崗岩）」であった、という報告もある。

このような北海道の環境で道路等社会資本を整備する困難さと先人の苦労は想像に難くない。北海道においては、多くの課題を解決すべく、様々な新技術が採用されることも多い。特に象徴的なのは、昭和28年（1953年）に完成した延長34.5kmの国道36号札幌～千歳間の通称弾丸道路である。全国でコンクリート舗装が主流であったなか、国内のアスファルト舗装の草分け的存在であり、凍上対策も施された画期的な道路であった。以降、国土開発幹線自動車道建設法（昭和32年（1957年））や第四次全国総合開発計画（昭和62年（1987年））等に基づき全国の高速交通網の整備が進められることになる。ここで、北海道における高規格幹線道路等の整備状況とその変遷について記す。

図-1.1は、令和2年（2020年）度末時点の北海道における高規格幹線道路網図である。図より、札幌市を中心に道内各地へ高規格幹線道路が着実に延伸していることが確認できる。これらは一般道の重要区間における代替ルートを形成することで、その役割の重要な一つである災害の発生等に対する高速交通ネットワークの信頼性に寄与していることが伺える。

以下に、北海道内の高規格幹線道路（高速自動車国道^{※2}（通称A路線）、高速自動車国道に並行する一般国道自動車専用道路^{※3}（通称A'路線）、一般国道の自動車専用道路^{※4}（通称B路線））に着目し、その概略を記す。なおB路線に関しては、紙面の都合上抜粋して記している。併せて参考として北海道内の高規格幹線道路の開通履歴を本節末に示す（表-1.1）。

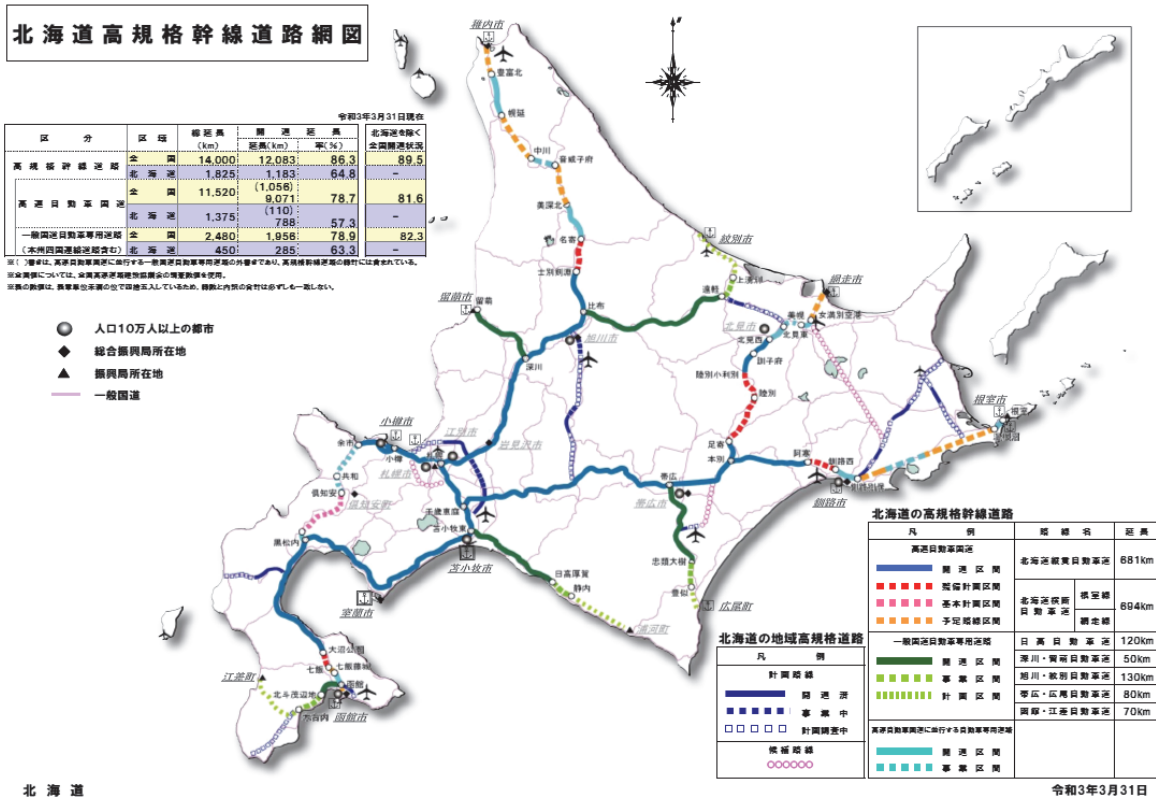


図-1.1 北海道の高規格幹線道路網

(北海道高速道路建設促進期成会 HP (<https://www.hokkaido.cci.or.jp/kousoku/>) より転記)

(1) 北海道縦貫自動車道 (高速自動車国道)

北海道函館市を起点とし、室蘭市、札幌市、旭川市、士別市、名寄市等を経由して稚内市に至る延長約 681km の国土開発幹線自動車道 (高速自動車国道) である。次に触れる北海道横断自動車道と並び、国土の普遍的開発を図り、産業発展の不可欠の基盤たる全国的な高速自動車交通網を形成するもので、「国土開発幹線自動車道建設法」(昭和 32 年 (1957 年)) に基づき建設される道路である。

昭和 46 年 (1971 年) の千歳 IC～北広島 IC (延長 23km) の開通を皮切りに鋭意整備が進められている。令和 2 年 (2020 年) 度末現在、北海道縦貫自動車道は、NEXCO 東日本が管理する道央自動車道 (大沼公園 IC～士別剣淵 IC) が開通し、また七飯～大沼間と士別剣淵～名寄間は、新直轄方式※5 という、国と地方自治体の負担による直轄事業により整備する区間である (通称 A 路線)。

その他、国土交通省北海道開発局が、高速自動車国道に並行する一般国道自動車専用道路として、函館新道 (函館 IC/JCT～七飯藤城 IC)、名寄美深道路 (名寄 IC～美深北 IC)、音威子府バイパス (音威子府村から中川町：未開通)、幌富バイパス (幌延 IC

～豊富サロベツ IC)、豊富バイパス (豊富サロベツ IC～豊富北 IC) を整備・管理している (通称 A' 路線)。

(2) 北海道横断自動車道 (高速自動車国道)

北海道寿都郡黒松内町を起点とし、小樽市、札幌市、夕張市、清水町、本別町等を経由して根室市・網走市に至る延長約 694km の国土開発幹線自動車道 (高速自動車国道) である。本別町で分岐し、根室に至る路線は北海道横断自動車道根室線、網走に至る路線は北海道横断自動車道網走線という (黒松内町～本別町は重複)。

昭和 46 年 (1971 年) の小樽 IC～札幌西 IC 間の開通を皮切りに、鋭意整備が進められている。令和 2 年 (2020 年) 度末現在、北海道横断自動車道は、NEXCO 東日本が管理する後志自動車道 (余市 IC～小樽 JCT)、札幌自動車道 (小樽 IC～札幌 JCT)、道央自動車道 (札幌 JCT～千歳恵庭 JCT) (北海道縦貫自動車道と重複)、道東自動車道 (千歳恵庭 JCT～本別 IC、本別 JCT～足寄 IC) が開通しており、また新直轄方式として整備する、足寄～北見間、本別～釧路間のうち、本別 IC～阿寒 IC 間は開通済みとなっ

表-1.1 北海道における高規格幹線道路の開通履歴（令和3年（2021年）3月末時点）

開通年月日	路線名	区間	延長(km)
昭和46年(1971年)12月4日	北海道縦貫自動車道	千歳IC ~ 北広島IC	23
昭和46年(1971年)12月4日	北海道横断自動車道根室線	小樽IC ~ 小樽JCT	5
昭和46年(1971年)12月4日	北海道横断自動車道根室線	小樽JCT ~ 札幌西IC	19
昭和53年(1978年)10月24日	北海道縦貫自動車道	苫小牧東IC ~ 千歳IC	12
昭和54年(1979年)10月29日	北海道縦貫自動車道	北広島IC ~ 札幌南IC	4
昭和55年(1980年)10月29日	北海道縦貫自動車道	苫小牧西IC ~ 苫小牧東IC	18
昭和58年(1983年)11月9日	北海道縦貫自動車道	札幌IC ~ 岩見沢IC	32
昭和58年(1983年)11月30日	北海道縦貫自動車道	白老IC ~ 苫小牧西IC	16
昭和60年(1985年)10月18日	北海道縦貫自動車道	登別東IC ~ 白老IC	19
昭和60年(1985年)10月25日	北海道縦貫自動車道	札幌南IC ~ 札幌IC	8
昭和61年(1986年)10月9日	北海道縦貫自動車道	登別室蘭IC ~ 登別東IC	11
昭和62年(1987年)9月18日	北海道縦貫自動車道	岩見沢IC ~ 美唄IC	21
昭和63年(1988年)10月8日	北海道縦貫自動車道	美唄IC ~ 滝川IC	28
平成1年(1989年)9月12日	北海道縦貫自動車道	滝川IC ~ 深川IC	18
平成2年(1990年)10月30日	北海道縦貫自動車道	深川IC ~ 旭川鷹栖IC	27
平成3年(1991年)10月25日	北海道縦貫自動車道	室蘭IC ~ 登別室蘭IC	10
平成4年(1992年)9月30日	北海道横断自動車道根室線	札幌西IC ~ 札幌JCT	14
平成4年(1992年)10月27日	北海道縦貫自動車道	伊達IC ~ 室蘭IC	13
平成6年(1994年)3月30日	北海道縦貫自動車道	虻田洞爺湖IC ~ 伊達IC	11
平成7年(1995年)10月30日	北海道横断自動車道根室線	十勝清水IC ~ 池田IC	51
平成9年(1997年)10月22日	北海道縦貫自動車道	長万部IC ~ 虻田洞爺湖IC	49
平成9年(1997年)11月19日	北海道縦貫自動車道	名寄IC ~ 名寄北IC	5
平成10年(1998年)3月23日	日高自動車道	苫小牧東IC ~ 沼ノ端西IC	4
平成10年(1998年)4月11日	深川・留萌自動車道	深川JCT ~ 深川西IC	4
平成10年(1998年)7月6日	日高自動車道	沼ノ端西IC ~ 厚真IC	16
平成10年(1998年)7月23日	深川・留萌自動車道	深川西IC ~ 秩父別IC	7
平成11年(1999年)10月7日	北海道横断自動車道根室線	千歳恵庭JCT ~ 夕張IC	42
平成12年(2000年)3月30日	北海道縦貫自動車道	函館IC ~ 七飯本町IC	7
平成12年(2000年)10月4日	北海道縦貫自動車道	旭川鷹栖IC ~ 和寒IC	29
平成12年(2000年)11月3日	北海道横断自動車道網走線	高野交差点 ~ 美幌IC	3
平成13年(2001年)3月24日	北海道縦貫自動車道	七飯本町IC ~ 七飯藤城IC	4
平成13年(2001年)11月19日	北海道縦貫自動車道	国縫IC ~ 長万部IC	11
平成14年(2002年)3月30日	旭川・紋別自動車道	浮島IC ~ 白滝IC	20
平成15年(2003年)3月15日	帯広・広尾自動車道	帯広JCT ~ 帯広川西IC	17
平成15年(2003年)3月21日	北海道縦貫自動車道	名寄北IC ~ 智恵文南入口	7
平成15年(2003年)3月24日	函館・江差自動車道	函館IC ~ 北斗中央IC	8
平成15年(2003年)6月8日	北海道横断自動車道根室線	池田IC ~ 本別IC	19
平成15年(2003年)6月8日	北海道横断自動車道網走線	本別JCT ~ 足寄IC	13
平成15年(2003年)7月17日	深川・留萌自動車道	秩父別IC ~ 沼田IC	8
平成15年(2003年)8月10日	日高自動車道	厚真IC ~ 滝川IC	8
平成15年(2003年)10月4日	北海道縦貫自動車道	和寒IC ~ 士別刺潤IC	16
平成16年(2004年)3月27日	旭川・紋別自動車道	比布IC ~ 愛別IC	10
平成16年(2004年)10月30日	旭川・紋別自動車道	愛別IC ~ 愛山山川IC	10
平成16年(2004年)11月6日	北海道縦貫自動車道	豊富サロベツIC ~ 豊富北IC	7
平成17年(2005年)3月27日	深川・留萌自動車道	沼田IC ~ 北竜ひまわりIC	16

開通年月日	路線名	区間	延長(km)
平成17年(2005年)7月3日	北海道横断自動車道網走線	美幌IC ~ 女満別空港IC	5
平成18年(2006年)3月12日	帯広・広尾自動車道	帯広川西IC ~ 幸福IC	13
平成18年(2006年)3月19日	日高自動車道	滝川IC ~ 日高富川IC	12
平成18年(2006年)11月18日	北海道縦貫自動車道	八雲IC ~ 国縫IC	22
平成18年(2006年)11月19日	旭川・紋別自動車道	愛山山川IC ~ 上川層雲峡IC	8
平成18年(2006年)11月19日	旭川・紋別自動車道	上川層雲峡IC ~ 上川天幕	8
平成18年(2006年)11月25日	北海道縦貫自動車道	智恵文南入口 ~ 智恵文IC	4
平成18年(2006年)11月26日	深川・留萌自動車道	北竜ひまわりIC ~ 留萌幌幌IC	8
平成19年(2007年)3月18日	旭川・紋別自動車道	旧白滝 ~ 丸瀬布IC	10
平成19年(2007年)10月21日	北海道横断自動車道根室線	トマムIC ~ 十勝清水IC	21
平成20年(2008年)11月29日	帯広・広尾自動車道	幸福IC ~ 中札内IC	7
平成21年(2009年)10月10日	北海道縦貫自動車道	落部IC ~ 八雲IC	16
平成21年(2009年)10月24日	北海道横断自動車道根室線	占冠IC ~ トマムIC	26
平成21年(2009年)11月7日	北海道横断自動車道根室線	黒松内JCT ~ 黒松内IC	5
平成21年(2009年)11月14日	函館・江差自動車道	北斗中央IC ~ 北斗富川IC	5
平成21年(2009年)11月21日	北海道横断自動車道根室線	本別IC ~ 浦幌IC	8
平成21年(2009年)12月12日	旭川・紋別自動車道	白滝IC ~ 旧白滝	7
平成22年(2010年)3月8日	北海道縦貫自動車道	智恵文IC ~ 美深IC	4
平成22年(2010年)3月14日	北海道縦貫自動車道	幌延IC ~ 豊富サロベツIC	12
平成22年(2010年)3月28日	旭川・紋別自動車道	上川天幕 ~ 浮島IC	10
平成23年(2011年)10月29日	北海道横断自動車道根室線	夕張IC ~ 占冠IC	34
平成23年(2011年)11月26日	北海道縦貫自動車道	森IC ~ 落部IC	20
平成24年(2012年)3月17日	日高自動車道	日高富川IC ~ 日高門別IC	5
平成24年(2012年)3月24日	函館・江差自動車道	北斗富川IC ~ 北斗茂辺地IC	5
平成24年(2012年)11月10日	北海道縦貫自動車道	大沼公園IC ~ 森IC	10
平成25年(2013年)3月16日	深川・留萌自動車道	留萌幌幌IC ~ 留萌大和田IC	9
平成25年(2013年)3月17日	帯広・広尾自動車道	中札内IC ~ 更別IC	6
平成25年(2013年)3月30日	北海道縦貫自動車道	美深IC ~ 美深北IC	4
平成25年(2013年)3月31日	北海道横断自動車道網走線	北見西IC ~ 北見東IC	10
平成27年(2015年)3月15日	帯広・広尾自動車道	更別IC ~ 志類大樹IC	17
平成27年(2015年)3月29日	北海道横断自動車道根室線	浦幌IC ~ 白糠IC	26
平成27年(2015年)11月8日	北海道横断自動車道網走線	訓子府IC ~ 北見西IC	12
平成28年(2016年)3月12日	北海道横断自動車道根室線	白糠IC ~ 阿寒IC	14
平成28年(2016年)3月12日	北海道横断自動車道根室線	釧路西IC ~ 釧路東IC	10
平成29年(2017年)3月19日	旭川・紋別自動車道	丸瀬布IC ~ 遠軽瀬戸瀬IC	11
平成29年(2017年)10月9日	北海道横断自動車道網走線	陸別小利別IC ~ 訓子府IC	16
平成30年(2018年)4月21日	日高自動車道	日高門別IC ~ 日高厚賀IC	14
平成30年(2018年)12月8日	北海道横断自動車道根室線	余市 ~ 小樽JCT	24
平成31年(2019年)3月9日	北海道横断自動車道根室線	釧路東IC ~ 釧路別保IC	7
令和1年(2019年)12月21日	旭川・紋別自動車道	遠軽瀬戸瀬IC ~ 遠軽IC	7
令和2年(2020年)3月22日	北海道横断自動車道根室線	温根沼IC ~ 根室IC	7
令和2年(2020年)3月28日	深川・留萌自動車道	留萌大和田IC ~ 留萌IC	4

ている（通称 A 路線）。平成 21 年（2009 年）に開通した本別 IC～浦幌 IC 間は北海道で初めて新直轄方式により整備、開通した区間である。

その他、国土交通省北海道開発局が、高速自動車国道に並行する一般国道自動車専用道路として、黒松内新道（黒松内 JCT～黒松内 IC）、倶知安余市道路（倶知安町～余市町：事業中）、釧路外環状道路（釧路西 IC～釧路別保 IC）、尾幌糸魚沢道路（厚岸町尾幌～厚岸町糸魚沢：事業中）、根室道路（温根沼 IC～根室 IC）、北見道路（北見西 IC～北見東 IC）、端野高野道路（北見東 IC～美幌高野 IC：事業中）、美幌バイパス（美幌高野 IC～女満別空港 IC）を整備・

管理している（通称 A'路線）。

（3）日高自動車道（一般国道の自動車専用道路）

日高自動車道は、苫小牧市を起点とし、新ひだか町を經由し浦河町に至る延長約 120km の一般国道の自動車専用道路（通称 B 路線）である。日高地方と道央圏の主要都市や新千歳空港、国際拠点港湾苫小牧港などの交通拠点を結ぶ高速交通ネットワークを形成する。また、大規模地震発生時において海岸沿いを通る一般国道 235 号は津波による浸水や大津波警報などで通行止めとなるケースが想定され、日高自動車道の緊急輸送道路としての機能が重要

となる。

平成 10 年（1998 年）の苫小牧東 IC～厚真 IC 間の開通を皮切りに、令和 2 年（2020 年）度末現在、日高厚賀 IC まで約 60km が開通している。

（4）深川・留萌自動車道（一般国道の自動車専用道路）

深川・留萌自動車道は、深川市を起点とし、秩父別町、沼田町、北竜町を經由して留萌市に至る延長約 50km の一般国道の自動車専用道路（通称 B 路線）である。北海道縦貫自動車道と一体となって、重要港湾留萌港などを有する留萌地域と道央圏、道北圏を結ぶ高速交通ネットワークを形成する。並行する一般国道 233 号は、留萌川沿いの河岸段丘を通過し自然災害（落石、崩壊、地吹雪など）の影響を受けやすく、安全性の高い道路が求められていた。

平成 10 年（1998 年）の深川 JCT～深川西 IC 間、深川西 IC～秩父別 IC 間の開通を皮切りに、令和 2 年（2020 年）3 月 28 日に留萌大和田 IC～留萌 IC が開通し、北海道で初となる高規格幹線道路の全線開通となった。

（5）函館・江差自動車道（一般国道の自動車専用道路）

函館・江差自動車道は、函館市を起点とし、北斗市、木古内町を經由して江差町に至る延長約 70km の一般国道の自動車専用道路（通称 B 路線）である。道南地域の都市間の連絡機能強化のほか、将来的には道央圏と結ぶ北海道縦貫自動車道や地域高規格道路^{*6} 函館新外環状道路と連結し、道南圏全体の社会・経済活動に寄与するものである。また、並行する現道が津波浸水想定区域に該当するため、本自動車道の整備により津波浸水想定区域を回避し、緊急時の避難や迅速な救急搬送、救援物資輸送の確実性向上が期待される。

平成 15 年（2003 年）の函館 IC～上磯 IC 間の開通を皮切りに、令和 2 年（2020 年）度末現在、北斗茂辺地 IC まで約 18km が開通している。令和 3 年（2021 年）度に北斗茂辺地 IC～木古内 IC 間の開通が予定されている。

このように高規格幹線道路が延伸される一方で、地方部の高規格幹線道路および地方間を結ぶ道路（地域高規格道路）の整備は未だ不十分であるといえる（図-1.1 参照）。日本道路公団の民営化や、公

共事業費の削減等社会情勢が変化するなか、必要な道路を確実に効率よく整備することが求められ、新直轄方式等新たな手法による整備も進められている。

今後整備を進めるにあたって、その地域が有する地盤や自然環境の状況および特徴を適切に把握することが重要であり、また、地震とこれに伴う津波、気候変動に伴う豪雨や融雪災害、地盤の凍上・凍結融解など、北海道の地盤を取り巻く環境は厳しさを増しているため、社会資本整備を支える地盤工学分野のさらなる発展が期待されているといえる。

※1 高規格幹線道路：

「第四次全国総合開発計画」（昭和 62 年（1987 年）6 月 30 日閣議決定）および「21 世紀の国土のグランドデザイン」（平成 10 年（1998 年）3 月 31 日閣議決定）で国土の骨格となる基幹的な高速陸上交通網を形成するものとして構想され、自動車が高速かつ安全に走行できるような構造となっている自動車専用道路（延長約 14,000km）。

※2 高速自動車国道：

「高速自動車国道法」（昭和 32 年（1957 年）4 月 25 日公布）で、規定される「自動車の高速交通の用に供する道路で、全国的な自動車交通網の枢要部分を構成し、かつ、政治・経済・文化上特に重要な地域を連絡するものその他国の利害に特に重大な関係を有する」道路で、国土開発幹線自動車道建設法による予定路線及び高速自動車国道法による予定路線（約 11,520km）。通称 A 路線。

※3 高速自動車国道に並行する一般国道自動車専用道路：

渋滞解消や防災対策など一般国道が有する課題に緊急に対応する観点から、一般国道のバイパスを整備する際に、近傍に高速自動車国道の計画がある場合、将来における二重投資を避けるため等の事由により規格の高い自動車専用道路として整備し、高速自動車国道の機能を当面代替することが可能な路線。いわゆる高速自動車国道ではないが、当該路線の延長は高速自動車国道（約 11,520km）に含まれる。通称 A' 路線。

※4 一般国道の自動車専用道路：

高規格幹線道路（約 14,000km）のうち、高速自動車国道（約 11,520km）を除く路線（約 2,480km）で、国土交通大臣が指定する。通称 B 路線。

※5 新直轄方式：

「道路関係四公団民営化推進委員会意見書」（平成14年（2002年）12月6日）等に基づき高速自動車国道を整備する一手法のことで、高速自動車国道の建設において、高速道路会社によらない国と地方自治体の負担による新たな直轄事業として平成15年（2003年）5月12日の「高速自動車国道法」改正によって施行された制度のこと。高速自動車国道であるが、一般国道と同様に国土交通省地方整備局等が整備し、完成後は無料開放される。

※6 地域高規格道路：

高規格幹線道路と一体となって（もしくは補完し）、地域の自立的発展や地域間の連携を支える道路として整備することが望ましい路線として国土交通省に指定され、自動車専用道路もしくはこれと同等の規格を有し、概ね60km/h以上の走行サービスを提供できる道路。

1.2.3 河川整備²⁾

北海道には321水系、2,025河川、延長約15,400kmの河川がある。北海道は、比較的なだらかな土地を有する一方、急峻な地形を全国で最も広く有しているため、大雨が降ると河川に一気に流れ出し、洪水が発生する危険性の高い場所が多く存在する。

また、近年は時間雨量で30mmを超える降雨の発生回数が約30年前の2倍になるなど、降雨パターンが極端になっている³⁾。

以下に主な水系の概要を地盤災害との関連について紹介する。

(1) 石狩川水系

石狩川は幹川流路延長268km、流域面積14,330km²の一級河川である。その流域は、北海道中央部に位置し、石狩、空知、上川支庁にまたがる18市28町2村からなり、下流域には札幌市をはじめ都市化の進展の著しい道央地域を抱え、北海道の2分の1を超える約300万人の人口が集中している。

石狩川流域の地質については、上流域・中流域・下流域のそれぞれで地質区分に顕著な特性がある。上流域については、源流に近い山間域において、大雪山系の火山活動に伴う火成岩・火山岩や火山灰・火山噴出物が広く分布しており、その下流の上川盆地では、砂礫からなる氾濫原堆積物が広く分布する扇状地が形成されている。上流域と中流域の境には、神居古潭変成帯と呼ばれる変成岩帯が河川を分断

するように帯状に形成されており、その上流側では石狩川によって形成された上川盆地の扇状地が存在する。中流域については、山地丘陵部が礫岩・砂岩・泥岩で構成され、沿川の低平地においては、砂礫からなる氾濫原堆積物が広く分布している。下流域については、氾濫原堆積物から構成される粘土が分布していると共に、6万haにも及ぶといわれる泥炭地が分布しており、物理的、構造的に不安定な軟弱地盤地帯を形成している。

石狩川では明治31年（1898年）の洪水を契機として本格的な治水計画がスタートし、明治37年（1904年）の洪水を基準として計画高水流量が算定されたことにより事業が開始された。昭和に入ってから昭和36・37年（1961・1962年）に大きな洪水があり、昭和39年（1964年）の新河川法施行に伴って、工事実施基本計画が策定された。昭和56年（1981年）8月上旬にはそれまでの洪水を大きく上回る洪水が発生し、これを契機として工事実施基本計画が改定され、これを基準として治水事業が進められ、現在に至っている。

昭和56年（1981年）の水害は56水害と称される未曾有の水害であり、破堤や法面崩壊が多く発生した。この水害では、昭和56年（1981年）8月に6日と23日の2回洪水が発生した。その第1は3日から6日にかけて、北海道中央部に停滞した前線と台風12号の影響により、道内全域は大雨となり、特に石狩川流域では、岩見沢406mm、札幌294mmなどを記録した。

このため、石狩大橋観測所において最高水位が計画高水位を超えたのをはじめ、本川中下流部及び、千歳川で計画高水位を超え本川下流部新篠津築堤、幌向川、大鳳川など、合計約60カ所で溢水破堤、法面崩壊などの災害が発生し、江別市、岩見沢市、北村などをはじめ、内外水を合せて614km²の氾濫面積となった。また石狩大橋では、通過流量のピークは11,330m³/sと計画を大幅に上回るものであった。被害状況は、死者2名、被害家屋225百戸に及んだ。

第2は、8月21日から23日にかけて前線と台風15号により、全道的に暴風雨が発生し、登別から札幌にかけて、豊平川、千歳川流域を中心として集中的な豪雨をもたらされた。降雨量は、札幌229mm、岩見沢124mmであり、とくに札幌で23日の日降雨量は207mmと明治9年（1876年）の気象台創立以来の最大値を記録した。

この豪雨により、豊平川支川月寒川、厚別川流域等で内水氾濫が発生し、札幌市内では、豊平川支川

野の沢川，オカバルシ川，南の沢川などで土砂災害が発生した。被害状況は，死者1名，被害家屋122百戸に及んだ。

軟弱地盤対策に注目すると，昭和44年（1969年）の堤防工事は軟弱地盤上での厳しい工事であり，また周辺地域の急速な都市化に対応した早期竣工が求められたため，サンドコンパクションパイル工法などが採用された。昭和50年（1975年）には北海道全域に渡る大雨が発生し，これによって石狩川流域は大きな洪水被害を受けた。この災害復旧での堤防工事は軟弱地盤上での施行であったため，これまで行われていた工法に変わって新たにパイルネット工法が研究，施工され，大きな成果を得た。

(2) 十勝川水系

十勝川は幹川流路延長156km，流域面積9,010km²の一級河川である。その流域は，帯広市をはじめとする1市14町2村からなり，北海道東部における社会・経済・文化の基盤をなしている。

この流域の地質は，上流部では熔結凝灰岩をはじめとした火成岩が分布し，中・下流部には広く洪積層，沖積層が分布している。また，下流部には数メートルの厚さで泥炭層が広がっている。中・下流部に広がる十勝平野には，扇状地や段丘，台地が広がっており，東部から南にかけては，標高200m～800mの白糠丘陵，豊頃丘陵が分布している。

十勝川水系の治水事業は，大正8年（1919年）から13年（1924年）にかけて大洪水が続発し，特に大正11年（1922年）8月の洪水を契機とし，大正12年（1923年）には築堤，新水路掘削，護岸工事等の本格的な治水事業に着手した。昭和40年（1965年）の河川法施行を受け，河道の掘削，築堤，護岸工事等を実施してきた他，下流部における浚渫にも着手した。

さらに，北海道東部太平洋沿岸は地震多発地帯であり，昭和27年（1952年）3月の十勝沖地震をはじめ，近年では平成5年（1993年）1月釧路沖地震，平成6年（1994年）10月北海道東方沖地震及び平成15年（2003年）9月十勝沖地震が発生している。平成15年（2003年）の十勝沖地震では，津波の河川遡上が確認されるとともに，地震動により約30kmにわたり堤防が被災し，再度災害防止の観点から復旧が行われている。

(3) 釧路川水系

釧路川は幹川流路延長154km，流域面積2,510km²

の一級河川である。その流域は，釧路市をはじめとする1市3町1村からなり，釧路地域における社会・経済・文化の基盤をなしている。

この流域の地質は，全体の約9割が新第三紀の緑色凝灰岩・火山砕屑物，第四紀の火山噴出物等で覆われ，保水・浸透力の高い地盤を形成している。下流の釧路湿原は約6,000年前から形成された厚さ2～4mの泥炭が堆積する第四紀の沖積層で，周辺丘陵地からの豊富な湧水や地下水が供給されており，また南東部の丘陵地は第四紀の洪積層である。

釧路川水系の本格的な治水事業は，大正9年（1920年）8月の洪水を契機として実施された。この洪水では，釧路湿原全域及び釧路市街のある湿原下流域1万2千町歩が氾濫区域となり，2000戸以上の家屋の流出・浸水等の被害が発生した。

その後は，昭和40年（1965年）の河川法施行を受け，昭和43年（1968年）に標茶地点で計画高水流量1,200m³/sとする工事実施基本計画を策定し，河道の掘削，浚渫，堤防の新築及び拡築，護岸工事等を実施してきた。

(4) 網走川水系

網走川は幹川流路延長115km，流域面積1,380km²の一級河川である。その流域は，網走市，津別町，美幌町，女満別町の1市3町からなり，北海道オホーツク圏における社会・経済・文化の基盤をなしている。

流域の地質は，西部の山地や丘陵地は白亜紀の緑色岩石及び非火山性の新第三紀層であり，東部に広がる丘陵地や台地には第四紀層の火山噴出物が広く分布している。

西端部のチミケップ湖から訓津峠にかけての山地には，先白亜系仁頃層群が分布している。仁頃層群は玄武岩質凝灰岩，角礫岩を主体とし，レンズ状に石灰岩やチャート等の小岩体を伴う。これらの岩石は，一般に緑色を呈することから緑色岩類と総称される。また，分水嶺付近には，先白亜系の基盤を覆って，新第三系の火山岩類や第四系の火砕流堆積物が小規模に分布している。

西端分を除く本流西側の津別山地や津別川南側の相生丘陵地には，新第三系の堆積岩数が分布する。東部には凝灰岩主体の里美層，中西部にはシルト岩や硬質頁岩等からなる津別層や達媚層が分布している。

流域南部から南東端部の阿寒および屈斜路との

分水嶺付近には、火山カルデラの外輪山を形成する安山岩および玄武岩溶岩が分布する。

網走川中・下流の東側に広がる台地や丘陵地には、屈斜路火山を噴出源とする火砕流堆積物が分布している。これらは軽石を含む火山灰を主体としており、小河川沿いには部分的に溶結した部分も認められる。

網走川東側の台地には、非火山性堆積岩類からなる新第三系、中新統網走層が分布し、その上位には段丘堆積物も認められる。

美幌から津別にかけての網走川本流右岸部および美幌川流域には河岸段丘が発達し、砂礫を主体とする第四紀更新統の段丘が広く分布している。また、網走川下流の女満別低地には、泥炭を含む軟弱土の分布が認められる。

本格的な網走川水系の治水事業は、大正11年（1922年）8月洪水に鑑み、昭和9年（1934年）から美幌町市街部から網走湖流入地点までの区間について捷水路の開削、築堤等を実施した。

その後、昭和32年（1957年）に計画を見直し、美幌から住吉までの区間において築堤、掘削等を実施した。

昭和50年（1975年）洪水を契機に、昭和53年（1978年）より下流部の特殊堤に着手した。その際、網走川の恵まれた河川環境を活用し、都市景観の中に調和させるために、河川緑地計画を策定し、環境に配慮した特殊堤を実施した。平成4年（1992年）洪水を契機に、上流無堤区間の流下能力不足区間の解消を図るため、改修を実施中である。また、平成13年（2001年）9月洪水を契機に網走湖の湖岸堤において堤防強化対策が進められている。

(5) 常呂川水系

常呂川は幹川流路延長120km、流域面積1,930km²の一級河川である。その流域は、北見市、訓子府町、置戸町の1市2町からなり、オホーツク圏における社会・経済・文化の基盤をなしている。

この流域の地質は、主に火山岩や火山砕屑岩からなる新第三系が分布する西部地域、白亜系や先白亜系が分布する中部地域、新第三系の非火山性堆積岩類が分布する東端部地域に分けられる。

西部山地を主に構成するのは、新第三系中新統の安山岩類や凝灰岩類で、置戸を中心とした南部には鮮新統の安山岩類が認められる。これらの火山質岩類中には局部的に玄武岩溶岩、安山岩、流紋岩、閃

緑岩などの小規模な岩脈も点在する。本川および無加川の最上流部は、第四紀更新世の熔結凝灰岩で覆われ、流域最高峰の武華山は更新世の安山岩溶岩からなる。また、断層に伴って基盤の先白亜系日高層群の粘板岩や砂岩の露出も確認されている。

仁頃山地を含む中部地域は、北見台地や仁頃台地を除けば先白亜系仁頃層群の分布地である。これは地質構造区分上、常呂帯の一部に相当し、同様な地質は南北方向に連結した分布が確認されている。仁頃層群は海底火山噴出物起源の玄武岩や玄武岩質凝灰岩、角礫岩を主体とし、レンズ状に石灰岩やチャートなどの小岩帯を伴っている。また、留辺蘂北方の山地には仁頃層群と断層で接して砂岩、頁岩からなる非火山性の白亜系湧別層群が分布している。

流域東端部の台地や丘陵地、仁頃川流域の仁頃台地には非火山性の新第三系中新統が分布する。これらは砂岩、頁岩を主体とし、礫岩を伴っている。また、北見市南東方栄森丘陵地の一部には礫岩、砂岩、混岩からなる古第三系陸別層が分布している。

常呂川本流の中・下流域や仁頃川流域には、砂礫を主体として第四紀更新統の段丘堆積物が分布し、時に北見盆地ではかなりの広範囲に認められる。沖積層は、河川の中・下流沿いに堆積する現河床氾濫原堆積物や、河口付近に狭い分布を示す三角州堆積物、扇状地堆積物、砂丘堆積物である。また、河口付近には厚さ2～3mの低位泥炭の分布が認められる。

常呂川の治水事業は、大正8年（1919年）9月洪水にかんがみ、大正10年（1921年）から築堤工事に着手した。

その後、昭和40年（1965年）の河川法施行を受け、河道の掘削、堤防の新築及び拡築、護岸設置等を実施してきた。平成4年（1992年）9月洪水や平成13年（2001年）9月洪水等で大きな被害を受け、以後、現在まで築堤の完成化や河道掘削等を実施している。

(6) 天塩川水系

天塩川は幹川流路延長256km、流域面積5,590km²の一級河川である。その流域は、上川・留萌・宗谷支庁の3市10町1村からなり、北海道北部の社会・経済・文化の基盤をなしている。

この流域を大きく区分すると、上流部は日高帯、中流部は白亜系向斜帯、神居古潭構造帯、下流部は第三系褶曲帯が主となっている。

日高系はさらに日高東縁帯・日高中央帯・日高西

縁輝緑岩帯の3帯に細分化される。流域内に含まれるのはそのうち日高中央帯と日高西縁輝緑岩帯であり、日高中央帯は粘板岩・チャートなどの堆積岩類とこれを貫く深成岩類から成る。

また、日高西縁輝緑岩帯は、主として先白亜紀の塩基性火山噴出岩類から成り、蛇紋岩を伴っているがほとんど変成岩類は発達していない。これらの日高帯は北見山地の一部を構成している。

神居古潭構造帯では、先白亜紀の塩基性火山噴出岩類が大量に発達しているとともに、大小様々な規模の蛇紋岩が伴われている。本構造帯は、天塩山地の一部と宗谷丘陵の南東部を構成している。

白亜系向斜帯は、塩基性火山噴出岩類を全く伴わず、砂岩、頁岩およびそれらの互層を主としており、西側では天北隆起帯などの天塩山地の一部となり、東側では名寄盆地を構成している。

第三系褶曲帯では、新第三系の砕屑岩類が主体となり、天塩山地を構成する。

天塩川の治水事業は、大正8年(1919年)に始まり昭和12年(1937年)まで士別、名寄付近等の築堤を実施した。

昭和21年(1946年)に第2期計画が終わるまでに士別、名寄付近の築堤等を進めていった。昭和21年(1946年)7月および昭和28年(1953年)7月洪水を契機として改修総体計画が策定され、昭和30年(1955年)7月洪水に鑑み、治水事業が進められ、昭和38年(1963年)度以降改修総体計画へと移行していった。

1.2.4 港湾整備^{4)~6)}

北海道には大小35の港湾が存在し、そのうち2港は国際拠点港湾、10港は重要港湾で、これ以外は地

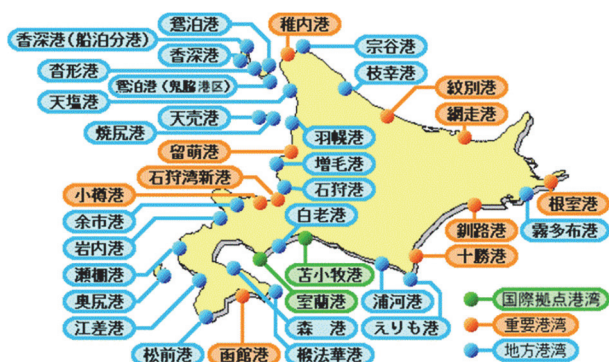


図-1.2 北海道の港湾位置図

(国土交通省北海道開発局 HP

(https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kk/kou_kei/ud49g7000000kikg.html) より転記)

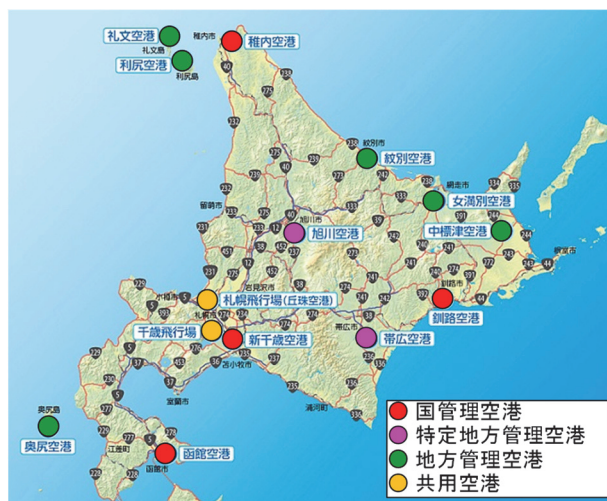


図-1.3 北海道の空港位置図

(国土交通省北海道開発局 HP

(<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kk/kuukou/ud49g7000000n1fc.html>) より転記, 加筆)

方港湾である(図-1.2)。港湾は経済・産業を支える重要な役割を果たしており、さらに災害時には支援物資等の輸送拠点となる。ここでは、国際拠点港湾である苫小牧港と室蘭港について述べる。

苫小牧港は、平成31年(2019年)時点で全道港湾貨物量の約半数を取り扱う国際拠点港湾である。港湾区域は西港区、東港区を併せ約14,300haであり、海岸線は約24kmにも及ぶ。苫小牧港では大規模災害が発生した場合の緊急物資の輸送機能や避難者の海上輸送路を確保するため、西港区、東港区に1バースずつ耐震強化岸壁を整備している。平成30年(2018年)度の胆振東部地震では鉄道や空路が運休となったが、内航フェリーは地震当日も平常通り運航していた。また、震災2日後の9月8日には支援物資が届けられるなど、災害支援において非常に大きな役割を果たした。

また室蘭港は、道内一の被覆内水域を有する国際拠点港湾である。港湾区域は1,598haで崎守地区、陣屋地区、入江地区を含む11地区に分けられる。このうち、入江地区では平成20年(2008年)度に耐震強化岸壁が整備され、供用を開始している。

なお、平成29年(2017年)時点で耐震強化岸壁が整備された港湾は、国際拠点港湾2港、重要港湾7港、地方港湾6港で、特に地方港湾の整備が不十分な現状にある。

1.2.5 空港整備^{7)~10)}

北海道には14の空港が存在し、国管理空港が4空港、特定地方管理空港が2空港、地方管理空港が6空

港，共用空港が2空港である（図-1.3）。

このうち新千歳空港は，平成30年（2018年）時点で乗降客数が2,300万人を超え，国内第5位の利用客数である。また，同空港は国土交通省より「航空輸送上重要な空港」に位置付けられており，大規模地震等の災害時の拠点空港となる。新千歳空港防災拠点計画では，「石狩低地東縁断層帯」における地震による被災を想定しており，その被災規模は兵庫県南部地震と同程度になるものと想定している。このような想定の下で，緊急物資輸送に使用するA滑走路とD誘導路またその取付誘導路に対して，液状化対策として平成21年（2009年）度に地下道の補強工事，平成22年（2010年）度から滑走路及び誘導路の下を流れる河川トンネルの補強工事を実施している。また，平成24年からは滑走路および誘導路の対策工事を実施しており，災害時に安全に航空機が離発着できる空港を目指している。

また函館空港は，空港施設や乗降客数および貨物取扱量とも新千歳空港に次いで北海道第2の規模を持ち重要な空港に位置づけられている。そのほぼ中央を横断する団助道路トンネルでは耐震機能を満足していないことが確認され，大規模地震時には空港の運用に支障をきたしてしまうため，同トンネルの滑走路および誘導路直下では耐震補強工事が行われ，平成25年（2013年）度に完了している。

以上のように一部空港では耐震化対策が進んでいるものの，平成27年（2015年）時点での耐震化対策の対象は国管理空港のみで，地方管理空港は対象となっていないため，地方空港での整備が不十分な現状にある。

1.3 北海道における近年の自然災害

表-1.2には北海道における昭和から平成までの主な自然災害を一覧にまとめた。昭和以降，北海道では地震や台風豪雨などを起因とした災害が多発している。また，1980年以降は，積雪寒冷地特有の凍上による災害が発生しているのが特徴的である。なお，表中の本文記載とは，第3章～第6章で詳述した災害である。また，火山噴火による災害については，降灰などの被害があるものの地盤災害とは性質が異なると考え，本書では取り扱わないこととした。

【参 考 文 献】

- 1) 北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会資料，2020.01。
https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/2/7/6/4/5/2/8/_r1_jishinsenmon_1.pdf
- 2) 国土交通省：河川整備基本方針・河川整備計画，
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/index.html
- 3) 北海道建設部：北海道の川づくりビジョン，
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kn/kss/ksn/kasenkahome/vision-public.htm>，2019.
- 4) 国土交通省：港湾における護岸等の耐震性調査・耐震改良のためのガイドライン，2018.
- 5) 苫小牧港管理組合：苫小牧港 将来の役割と目指す姿，2019.
- 6) 室蘭市：室蘭港長期構想，2020.
- 7) 高橋哲美，山口和良，水上一生：新千歳空港における土木施設の耐震対策について―震災時における空港の役割―，第57回北海道開発技術研究発表会，2014.
- 8) 北海道開発局：空港施設の耐震化事業，
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kk/kuukou/ud49g7000000rry7.html>
- 9) 角花真記，上川浩幸，吉田潤：函館空港地下道における耐震補強工事の施工について，第59回北海道開発技術研究発表会，2016.
- 10) 日刊建設工業新聞，<https://www.decn.co.jp/?p=39790>（参照 2022.03.31）
- 11) 内閣府防災情報：過去の災害一覧，
<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/1/pdf/sankoshiryo.pdf>

表-1.2 地盤災害を誘発した主な自然災害（昭和から平成まで）¹¹⁾より抜粋

発生時期	災害分類	災害名	災害概要	本書記載
1929(昭和4)年6月	火山噴火	駒ヶ岳噴火	火砕流と多量の降灰，死者2，住家全半壊1,915	
1940(昭和15)年8月	地震	北海道西方沖地震	M7.5，日本海沿岸津波，死者10	
1952(昭和27)年3月	地震	十勝沖地震	M8.2，太平洋側被害大，津波，死者28，住家全壊815	
1954(昭和29)年9月	台風豪雨	洞爺丸台風	死者不明者1,600余，全壊住家5,987，青函連絡船沈没5	
1962(昭和37)年6月	火山噴火	十勝岳噴火	多量の降灰，死者不明者5，負傷者12	
1968(昭和43)年5月	地震	十勝沖地震	M7.9，北海道南西部被害大，死者2，住家全半壊106	○
1977(昭和52)年8月	火山噴火	有珠山噴火	広域に降下火山灰，翌年の泥流で死者不明者3	
1981(昭和56)年8月	台風豪雨	56水害	死者10，重傷軽傷者68	
1982(昭和57)年3月	地震	浦河沖地震	M7.1，日高地方被害，重軽傷者167，住家全壊13	
1983(昭和58)年度	凍上	凍上災		○
1984(昭和59)年度	凍上	凍上災		○
1985(昭和60)年度	凍上	凍上災		○
1993(平成5)年1月	地震	釧路沖地震	M7.8，死者2，負傷者966，住家全半壊307	○
1993(平成5)年7月	地震	北海道南西沖地震	M7.8，津波被害大，死者不明者229，住家全半壊1009	○
1994(平成6)年10月	地震	北海道東方沖地震	M8.1，負傷者436，住家全壊半壊409	○
2000(平成12)年度	凍上	凍上災		○
2000(平成12)年3月	火山噴火	有珠山噴火	熱泥流発生，住家被害850	
2003(平成15)年9月	地震	十勝沖地震	M8.0，死者不明者2，重傷軽傷者847，住家全半壊484	○
2011(平成23)年3月	地震	東北地方太平洋沖地震	M9.0，死者1，軽傷者3，住家半壊4	
2011(平成23)年度	凍上	凍上災		
2012(平成24)年5月	融解	中山峠の盛土崩壊	融雪期の地すべり，盛土崩壊，通行止め	○
2013(平成25)年4月	融解	中山峠の盛土崩壊	融雪期の盛土崩壊，通行止め	○
2014(平成26)年8月	台風豪雨	礼文島豪雨災害		○
2014(平成26)年9月	台風豪雨	支笏豪雨災害		○
2015(平成27)年4月	融解	羅臼町地すべり	融雪期の地すべり	○
2016(平成28)年8月	台風豪雨	北海道豪雨災害		○
2018(平成30)年9月	地震	北海道胆振東部地震		○

第2章 北海道の地域特性

2.1 北海道の地質

2.1.1 はじめに

日本列島周辺には、北米、ユーラシア、フィリピン海および太平洋の4つのプレートが分布し（図-2.1¹⁾）、これらのプレートの相互作用による地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・沈降などの地質現象が活発であるとともに、それに伴う地質災害も多発している。

北海道は本州島の東北部とともに北米プレートに属しており、東からは太平洋プレートが年間約10cmの速さで沈み込み、西からはユーラシアプレートが年間約2~3cmで沈み込みを開始していると考えられている（図-2.1はやや古い資料に基づいているため、それぞれの値は8.5 cm, 0.9 cmと異なる）。このため、北海道付近は東西（より正確には西北西-東南東）方向の圧縮作用を受けている。

現在の北海道は、2つの島弧（本州弧と千島弧）の接合点に位置し、その地質基盤は東北地方からサハリンに至る本州弧の地質と共通する西半部分と、千島弧の地質システムで形成されている東半部分に大きく分かれている。

以下、文献^{2),3)}を抜粋あるいは要約しつつ、北海道の地質形成史および地質概要等について述べる。

2.1.2 北海道の地質形成史

最近の地質形成モデル²⁾によると、現在は日本海東縁部に位置する北米プレートとユーラシアプレートの境界は、中新世後期（約1300万年前に始まった日高山脈の上昇ステージ）には北海道の中軸部に位置していたとされる。

現在のプレート配置関係が成立する以前、北海道周辺地域には現在とは全く異なる古い島弧-海溝系の地質システムがあった。1つは渡島半島のジュラ系（付加体）をつくったジュラ紀後期の島弧-海溝系で、これは東北地方の古い本州弧から連続していた。次に、白亜紀初頭には新たな島弧-海溝系（白亜紀西方沈み込み帯）が西側の大陸縁辺部に成立し、さらに白亜紀後期にはオホーツク地塊の南西縁にこれらと異なる島弧-海溝系ができていて、東西2つの島弧-海溝系があった^{例へば、2),4),5)}。これらの古い島弧-海溝系の地質システムを構成していた地質体

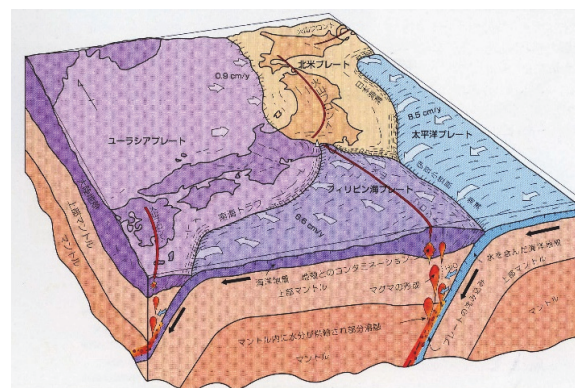


図-2.1 日本列島周辺のプレート分布と地震活動および火山活動の分布図¹⁾

は、北海道の地質基盤として分布する。

北海道中央部には、この白亜紀西方沈み込み帯でつくられた主に白亜系からなる地質体、とくに教科書的に重要な島弧-海溝系の主要な地質要素がほぼ完全な形で保存されており、北海道の地質を特徴づけている。例えば、白亜紀西方沈み込み帯の島弧火成活動は、海底噴火でできた札文-樺戸帯の火山岩類や、地下のマグマ溜まりでできた渡島帯の花崗岩類に見ることができる。また、この海溝側には、白亜紀を通じて前弧海盆が成長し、空知-エゾ帯の蝦夷層群を胚胎した。さらに、同時並行して、海溝側に大規模な付加体の地質が形成された。神居古潭帯の蛇紋岩や変成岩ブロックからは、冷たいスラブが沈み込む島弧-海溝系の地質を特徴づける低温高圧タイプの変成作用が地下で起こっていたことが読み取れる。さらに北海道東部には、オホーツク地塊の南西縁に生じた白亜紀後期以降の島弧-海溝系が知られており、常呂帯や根室帯の地質がつけられた。

北海道の背骨にあたる日高山脈には、高温の地温勾配の履歴をもつ島弧の深部でつくられた地質と岩石が露出する。日高山脈ができた新第三紀中新世後期には、北海道の中央部は、東側の北米プレートと西側のユーラシアプレートの境界部に位置しており、ここで、北米プレートがユーラシアプレートに衝上して日高山脈ができた。日高山脈に露出する島弧リソスフェアの地質断面は、その岩石が地下で形成されたときの地質温度と圧力の履歴解析から、20数 km の厚さをもつ連続的な地殻断面として復元されている²⁾。また、日高山脈の西側斜面には、その

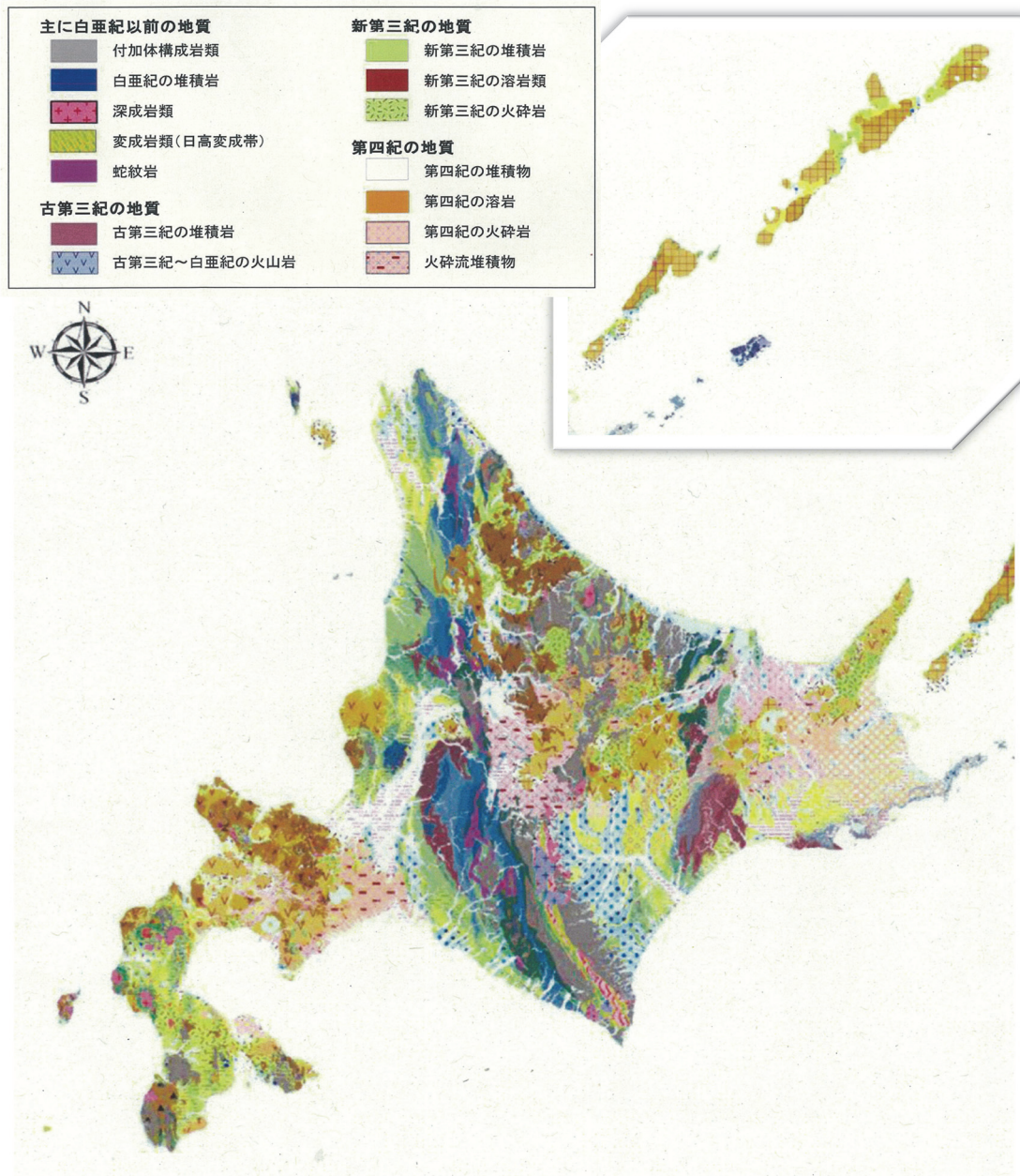


図-2.2 北海道全体の地質の概略³⁾

リソスフェアの最下部メンバーとして上部マントルかんらん岩が分布し、なかでも大きな幌満かんらん岩体は新鮮で多彩なかんらん岩からなる岩体として世界的に有名である。

2.1.3 北海道の地質区分

北海道全体の地質の概略を図-2.2に示す。北海道の地質構成は「主に白亜紀以前」「古第三紀」「新第三紀」「第四紀」の4つの地質年代に区分して整理すると理解しやすい。

岩類や、ジュラ紀もしくは白亜紀に付加してできた付加体構成岩類である。一部の付加体構成岩類の付加年代は、古第三紀まで連続する。日高変成岩類は、その東側に分布する付加体構成岩類が源岩になっている。また、蛇紋岩類は、付加体構成岩類と密接に関連して分布する。道南地域の深成岩類はジュラ紀の付加体構成岩類中に、道東地域のものは白亜紀～古第三紀の付加体構成岩類中に貫入しており、蛇紋岩を含む深成岩類や変成岩類については主に白亜紀以前の地質体として区分する。

(1) 主に白亜紀以前の地質

蝦夷層群や根室層群に代表される白亜紀の堆積

(2) 古第三紀の地質

付加体構成岩類や深成岩類の一部を除くと、その

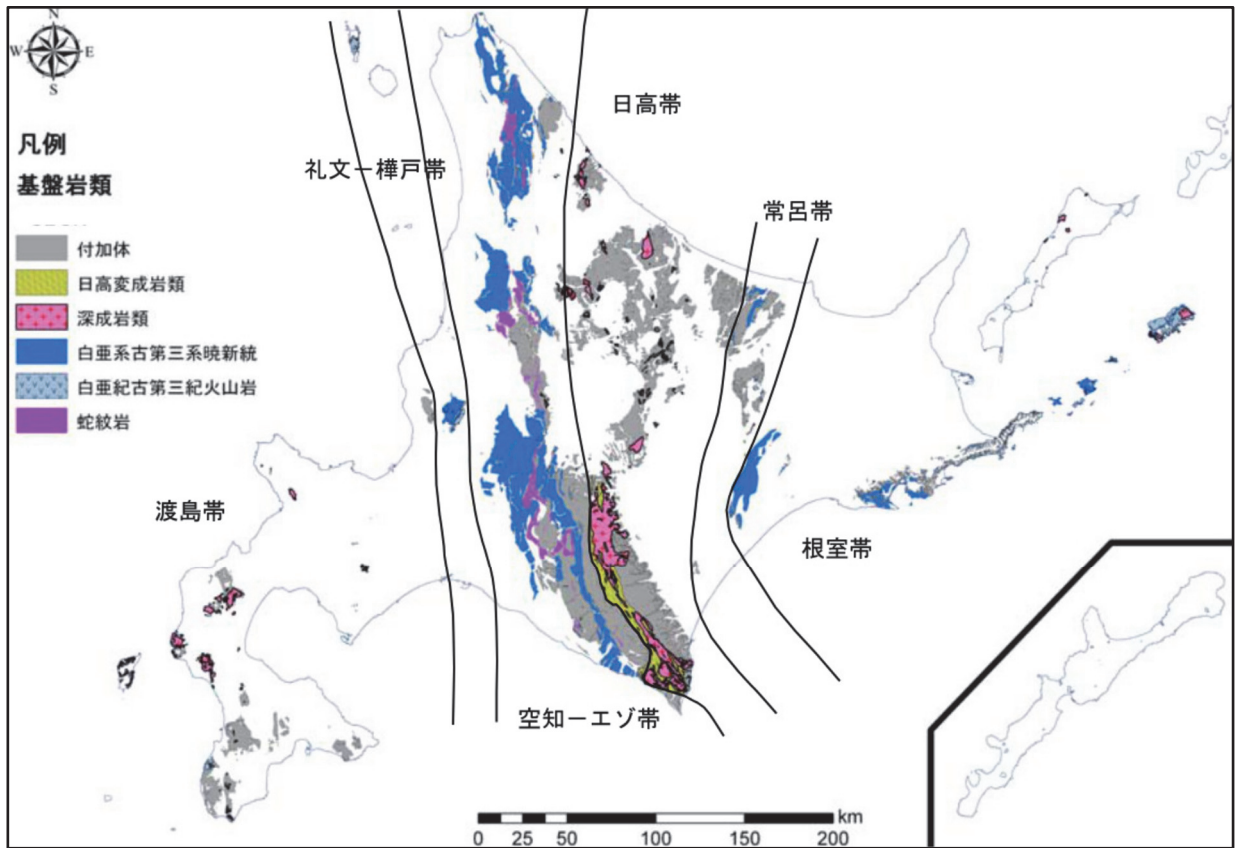


図-2.3 白亜紀以前の地層の分布³⁾

ほとんどが夕張地域や釧路地域に分布する古第三紀の堆積岩であり、特徴的に石炭層を伴う。

(3) 新第三紀の地質

北海道全域に広く分布する。これらは、主要な岩相にもとづいて、新第三紀の堆積岩類、新第三紀の火山岩類、新第三紀の火砕岩類に分けることができる。

(4) 第四紀の地質

石狩平野・十勝平野・釧路平野に広く分布する第四紀の堆積物や第四紀の火山活動にともなう第四紀溶岩、第四紀火山砕屑岩で構成される。火砕流堆積物・降下火砕物は、阿寒・屈斜路や十勝・大雪、支笏・洞爺などの火山を起源としており、主なものは第四紀の火山活動と関連している。

2.1.4 北海道の地質概要

北海道の地質を年代別に抽出した図を図-2.3から図-2.6にそれぞれ示し、以下に解説する。

(1) 主に白亜紀以前の地質 (図-2.3^{3), 6)}

白亜紀以前の地質は、西から東に、渡島帯、礼文-樺戸帯、空知-エゾ帯、日高帯、常呂帯、根室帯の6帯の地帯構造に区分される。渡島帯には、ジュラ紀付加体の地質と白亜紀花崗岩類が分布する。礼文-樺戸帯には、特徴的に白亜紀の島弧火成活動によってできた火山岩類が分布する。空知-エゾ帯、日高帯、および常呂帯には、白亜紀-古第三紀の付加体構成岩類が分布する。根室帯には、主に前弧海盆堆積物としての正常堆積物が分布する。また、空知-エゾ帯、日高帯、常呂帯には、付加体構成岩類とともに前弧海盆堆積物が混在する。

(2) 古第三紀の地質 (図-2.4³⁾)

北海道の古第三紀の堆積岩の大きな特徴の1つは、石炭層を伴う堆積作用が道南部を除く北海道の広い範囲の陸域-浅海域で生じたことである。その地表付近の露出は、北海道中央部地域(天北~羽幌-留萌~樺戸-石狩地域および日高山脈山麓地域)と北海道東部地域(北見-白糠-釧路)であり、前者は空知-エゾ帯の白亜紀堆積岩のすぐ西側に位置し、後者は根室帯の前弧域に位置する。この堆積作用の時期は、いずれの地域でも前期始新世-前期漸

第3章 地震による地盤の災害

3.1 はじめに

北海道は、過去に多くの巨大地震被害に見舞われている。表-3.1 は過去約 50 年間に我が国で発生した主要な地震をまとめたものである。表からわかるように、我が国の発生した巨大地震の 3 割近くが北海道内または周辺で発生している。これらの地震では、甚大な地盤災害が発生し、多くの人的被害、構造物被害が生じた。この章では、既往の地震被害調査報告書等に基づき、昭和 43 年（1968 年）以降に発生した昭和 43 年（1968 年）十勝沖地震、昭和 57 年（1982 年）浦河沖地震、平成 5 年（1993 年）釧路沖地震、平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震、平成 6 年（1994 年）北海道東方沖地震、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震、平成 30 年（2018 年）北海道胆振東部地震の液状化被害をはじめ、斜面崩壊などの地盤被害ならびに土木施設・構造物の被害についてその被災状況とその後の対策について取り纏めている。図-3.1 は、本章で対象とした地震の震央、緯度・経度とマグニチュードである。

なお、日本全国における近年の自然災害史にて最も甚大な被害をもたらした平成 23 年（2011 年）3 月 11 日発生の東北地方太平洋沖地震については、北海道での直接被害が限定的であったため、本章では節を設けておらず、ここに簡単に記す。震央距離が最短でも 500km 程度あったことにもより、全道にわたり震度は 2~4 に収まったが、太平洋沿岸は函館から根室まで津波の影響による 1~6m の潮位上昇が見られ¹⁾、一部の地域で浸水や港湾施設等の損傷被害が見られた²⁾。国土技術政策総合研究所資料・土木研究所資料に記された速報³⁾では、「海岸施設被害は、北海道から千葉県まで報告があった」とあり、その一方で他の被害として「堤防流出・決壊」「堤防沈下」「崩れ（すべり、はらみだし）」「護岸被災（クラック等）」「液状化」「樋管・排水機場等の被災」「その他」は道内ではいずれも無しとされている。文献 4) では「北海道、東北、関東地方の広い範囲にわたり地盤の液状化が発生し、住宅、道路、河川堤防、港湾施設、ライフライン等に多大な被害を与えた」とあるものの、北海道での具体的な液状化被害については言及されていない。人身・住居被害としては、平成 25 年（2013 年）1 月 16 日時点の警察庁緊急災

表-3.1 我が国で過去 50 年間に発生した地震

発生日時	地震名	マグニチュード
1964.06.16	新潟	7.5
1968.05.16	十勝沖	7.9
1973.06.17	根室半島	7.4
1978.01.14	伊豆大島近海	7.0
1978.06.12	宮城県沖	7.4
1982.03.21	浦河沖地震	7.1
1983.05.26	日本海中部	7.7
1993.01.15	釧路沖	7.8
1993.07.12	北海道南西沖	7.8
1994.10.04	北海道東方沖	8.2
1994.12.28	三陸はるか沖	7.6
1995.01.17	兵庫県南部	7.3
2000.10.06	鳥取県西部	7.3
2001.03.24	芸予	6.7
2003.05.26	三陸南	7.1
2003.07.26	宮城県北部	6.4
2003.09.26	十勝沖	8.0
2004.10.23	新潟県中越	6.8
2005.03.20	福岡県西方沖	7.0
2007.03.25	能登半島	6.9
2007.07.16	新潟県中越沖	6.8
2008.06.14	岩手宮城内陸	7.2
2011.03.11	東北地方太平洋沖	9.0
2016.04.09	熊本	7.3
2018.06.18	大阪府北部	6.1
2018.09.06	北海道胆振東部	6.7



図-3.1 今回対象とした北海道周辺で発生した地震（1968 年以降）

害警備本部による公表統計では「死者 1、負傷者 3、建物被害（住家被害）：半壊 4・一部破損 7・床上浸水 329・床下浸水 545」となっている。その他各種

機関・学会の調査報告^{5)~8)}では北海道が調査の対象にはなっていない。

3.2 1968年十勝沖地震^{9)~14)}

3.2.1 概説

昭和43年(1968年)5月16日09時45分、襟裳岬の南南東約150km、深さ約20kmを震源とするマグニチュードM=7.8の地震が発生した。気象庁はこの地震を「1968年十勝沖地震」と命名している。特に、この地震では十勝川下流域、浦河、鶴川、苫小牧など太平洋沿岸地域に強震動が襲い、北海道の太平洋岸では最大3m弱の津波が来襲した。

震度分布図を図-3.2に示す。浦河・広尾で震度V、その他、道内広い範囲で震度IVを観測した。その規模は、当時では昭和27年(1952年)3月4日の十勝沖地震(M=8.1)よりやや小さいものの、昭和39年(1964年)6月16日の新潟地震(M=7.5)よりは大きいものであった。北海道では、死者2名、負傷者133名、建物全壊25棟、半壊81棟、一部破損898棟、全焼2棟、床上および床下浸水30棟(いずれも道警本部調べによる)、その他、耕地・道路・鉄道・通信施設・船舶等にかんがりの被害があった。以下に項目ごとの被害概要を述べる。

3.2.2 港湾・空港の被害^{9), 14)}

港湾関係の被害は、土木構造物・建築物の被害に比べるとはるかに大きく、北海道においては港湾・漁港・海岸の被害総額は全被害の23%を占めている。1952年十勝沖地震の際に被害を受けた釧路港は、今

回の地震の影響はほとんど受けなかった。ここでは、比較的大きな被害を受けた室蘭港(特定重要港湾)、苫小牧港・函館港(重要港湾)に関する被害状況について述べ、さらには浦河港等の地方港及び十勝・日高内浦湾沿岸の漁港・避難港について述べる。また、この地震では、地震に伴って津波が発生しているが、港湾構造物の被害はほとんどなく、日高沿岸

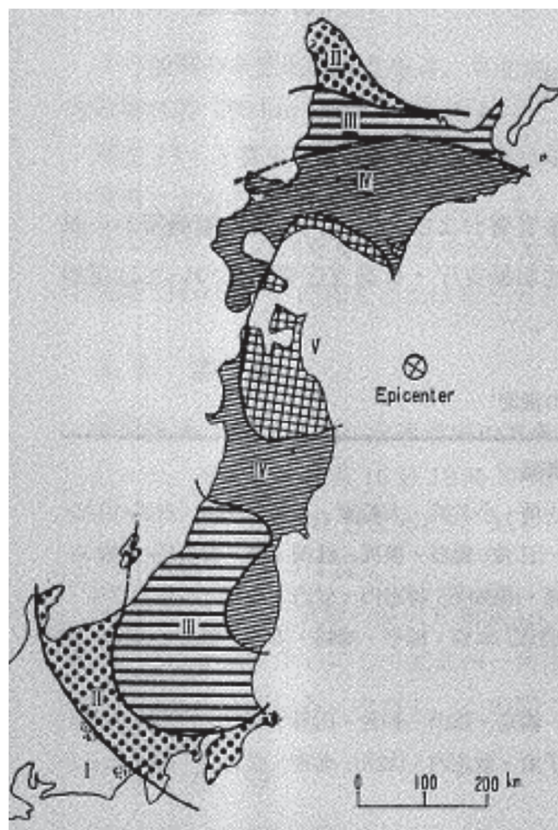


図-3.2 十勝沖地震震度分布

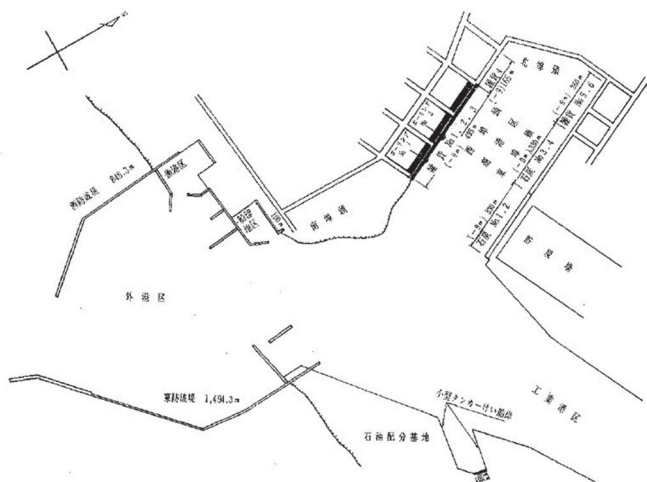


図-3.3 苫小牧港の平面図と被害状況

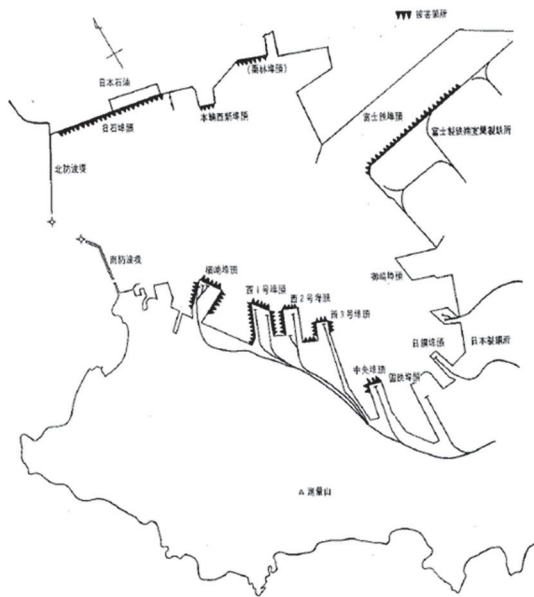


図-3.4 室蘭港の平面図と被害状況

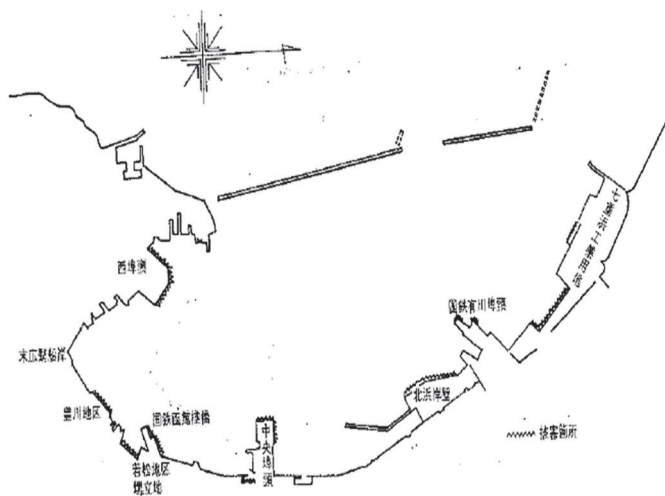


図-3.5 函館港の平面図と被害状況

の漁港で漁船の数隻沈没が報告されている。なお、空港の被害は報告されていないことから、港湾被害を中心に述べる。

苫小牧港の平面図と被害状況を図-3.3に示す。西埠頭（昭和36～41年（1961～1966年）の5か年間で建設）では、公共上屋（1号・2号・3号）の床版コンクリートの不等沈下と床版の多数の亀裂、施工目地での食い違い、船溜のB護岸の軽量鋼矢板がタイロットの破断によって倒壊した被害、石油分配基地の護岸の一部約80mが円弧すべりにより完全に

倒壊した被害等であったが、船舶の運行・荷役に支障をきたす程の被害ではなかった。

同様に、室蘭港の港湾構造物及び施設では被害箇所は数多く報告されているが、壊滅的な被害を受けた構造物はなかった。図-3.4は室蘭港の平面図と被害状況を示したものである。防波堤では、北防波堤・南防波堤、埠頭でも被害はほとんど受けていない。鋼矢板岸壁・ケーソン岸壁の上部コンクリートの海側へのせり出し、あるいは鋼矢板岸壁のはらみが、檜崎埠頭先端部及び東側岸壁等で認められた。また、

第4章 豪雨による地盤の災害

4.1 はじめに

北海道は、他の地域と比較して梅雨前線や台風の影響が少ない。表-4.1は気象庁のアメダスデータを基に、北海道の4都市と東京および那覇の2020年における年間降水量の比較をまとめたものである。北海道の主要4都市の年間降水量は1000mm程度あり、他の地域よりも降雨量が少ないことは歴然である。そのため、過去に発生した降雨による地盤災害の頻度は本州・四国・九州・沖縄よりも少ない。しかし、降雨量が少ないがために地盤構造物の降雨に対する災害免疫力が低いため、数十年や数百年に一度の降雨が発生した場合には、甚大な地盤災害が発生している。本稿では過去に発生した主な降雨による地盤の災害として56水害（1981年）、平成26年8月豪雨災害（2014年）、9.11支笏豪雨災害（2014年）、平成28年8月北海道豪雨災害（2016年）について、降雨の概況、被災事例、対策工の事例について述べる。

表-4.1 2020年における北海道の4都市と他都市の年間降水量の比較

都市名	年間降水量 (mm)
札幌	905.0
旭川	974.0
函館	1119.5
釧路	856.0
東京	1590.0
那覇	2481.0

4.2 昭和56年8月豪雨（56水害）

4.2.1 気象概要

昭和56年（1981年）8月3日から、サハリン中部に発達した低気圧から南にのびる寒冷前線が北海道中央部に停滞し、これに北上した台風12号の影響が加わって、北海道全域で記録的な降水量となった。図-4.1は昭和56年8月3日～6日における総雨量の分布を示している²⁾。特に、石狩川流域では8月3日夕方から6日朝まで雨が降り続き、主な地点での総雨量は札幌で294mm、岩見沢で410mm、滝川で354mmを記録した。この記録的な降雨の2週間後の8月23日には、台風15号が北海道に上陸した。図-4.2は台風15号による総降雨量の分布を示している。札幌では再び総降雨量が200mmを超えた。

上述の昭和56年（1981年）8月のまとまった降雨は、石狩川流域中心とした集中的な降雨形態となったことから、河川沿線の地盤災害の発生が際立ったことが特徴である。そのため以下では、河川堤防等の地盤構造物の被災事例について紹介する。

4.2.2 被災の概要・事例

昭和56年8月洪水では主に石狩・空知管内で被害

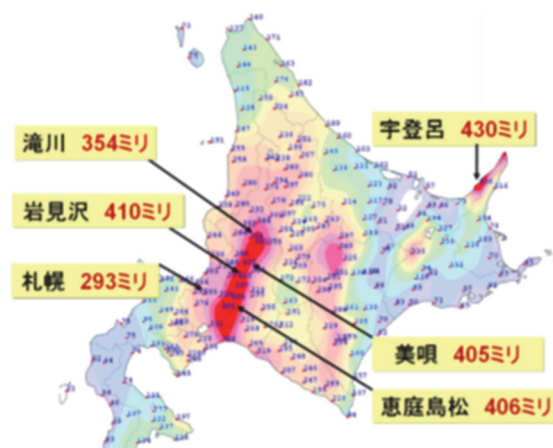


図-4.1 昭和56年8月3日～6日の総雨量²⁾

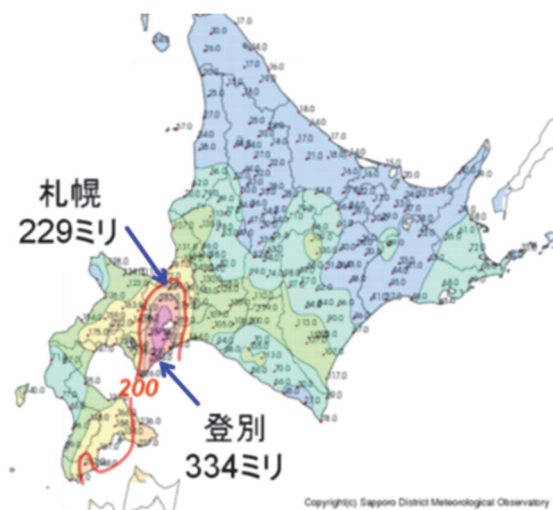


図-4.2 昭和56年8月21日～23日の総雨量²⁾

が確認されており、家屋の全・半壊22戸、床上浸水4819戸、床下浸水15443戸、田畑災害73824ha、河川溢水・決壊1012m、橋梁流失36か所などの被害が発生した³⁾。

表-4.2は石狩川で発生した河川堤防被災の概要

表-4.2 石狩川での河川堤防被災のまとめ³⁾

災害種別	現象	件数	概要
河岸の洗堀 (2件 1.7%)	河岸洗堀	2	
越水 (25件 21.4%)	越水により決壊したもの 越水により法面洗堀されたもの 越水したが無災害のもの 越水と法すべりの複合災のもの	7 7 10 1	
法すべり (61件 52.1%)	浸透により法すべりを起こしたと思われるもの 降雨により法すべりしたと思われるもの	6 55	堤内 1, 堤外 5 堤内 36, 堤外 19
降雨法面侵食 (3件 2.6%)	降雨法面侵食	3	堤内 3
堤防漏水 (17件 14.5%)	漏水により決壊したもの 堤体より漏水したいと思われるもの 基盤より漏水したいと思われるもの 漏水原因を特定できないもの	1 10 4 2	嶮淵川含む
構造物に起因するもの (9件 7.7%)	構造物周辺より漏水して決壊したもの 構造物周辺より漏水したいもの	1 8	
計		117	

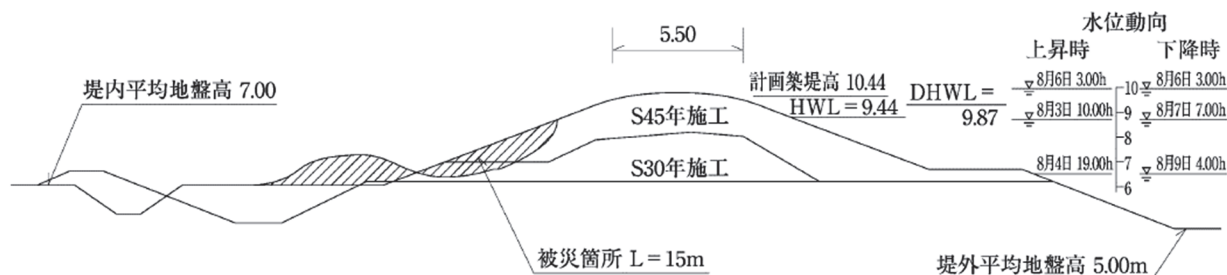


図-4.3 石狩川右岸堤防での法すべりの発生事例³⁾

のまとめ³⁾を示している。主な被災として9件の堤防決壊、61件の法すべりが発生した。図-4.3は石狩川右岸堤防で発生した法すべりの発生事例を示している³⁾。このような法すべりは降雨浸透を起因とした事例が55件となっており、河川水位上昇前の降雨によって堤防が損傷していたことになる。また、この法すべりは、法面勾配1:2.5以下の堤防に集中し、法面勾配1:2.0以下、堤体高さ5m以上の堤防断面での被災が全体の60%強を占めていた。

昭和56年8月洪水では、8月の1か月間で札幌市において総降雨量200mm以上の降雨を2度観測した。そのため、国内有数の急流河川であり、札幌市内の都市部を流下する豊平川でも河川増水が発生した。写真-4.1は豊平川で発生した三角波の状況を示している。三角波は河川増水によって河川流速が高速となった際に発生する。このような高速流によって、多数の護岸が被災し、広域での河岸侵食が発生した。写真-4.2は札幌市の南19条橋上流の8号床止付近における豊平川の状況と、その周辺での被災状況を示



写真-4.1 豊平川で発生した高速流れと三角波⁴⁾

している。住宅街を流下する豊平川の一部の支川（オカバルシ川や野の沢川）では河岸侵食が発生し、これによって基礎地盤が消失した住宅では建物が大きく傾斜するなどの甚大な被害が発生した。

4.2.3 対策事例

石狩川では昭和56年8月洪水によって、河道整備と堤防完成化が急務となった。このような背景から、河道整備で発生した掘削土を活用した丘陵堤⁵⁾によ



写真-4.2 豊平川周辺で発生した地盤災害の状況⁴⁾

る堤防の完成化が進められた。

図-4.4は丘陵堤のイメージ図⁵⁾を示している。堤防は一般的に1:2~1:3の法面勾配で施工されるが、泥炭などの極端な軟弱地盤地帯における軟弱地盤対策工として、堤防の安全性・親水性、経済性の面で有効である丘陵堤は有利である。この丘陵堤は法面勾配を1:5~1:10に緩くし、より大きな断面で盛土する。竹本ら⁶⁾による数値解析的な検討によると、法面勾配を大きくすることで支持地盤に作用する荷重を低減することによる施工時の安定性が確保だけでなく、地震時においても十分な安全性を確保できるとしている。また、浸透距離が長くなるため漏水やパイピングの危険性を低減でき、他の漏水対策工と比較して経済的としている。

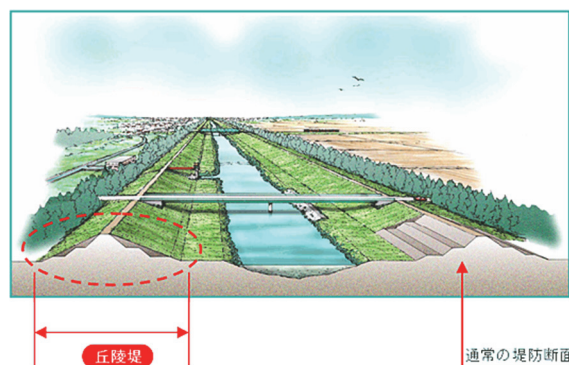


図-4.4 丘陵堤のイメージ図⁵⁾

4.3 平成26年8月豪雨

4.3.1 気象概要

図-4.5は平成26年(2014年)8月23日~24日における宗谷地方の総雨量の分布を示している。礼文島の香深では207mm、稚内では191.5mmの記録的な降雨を観測した⁷⁾。は防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門を行った解析では、気象庁によるメッシュ別解析総雨量(8/22 21:00~8/24 14:00)分布図⁸⁾から、礼文島は東西5km、南北20kmの細長く伸びた北海道北部の島であるが、8/22 21:00~8/24 14:00の総雨量分布の地域差は大きく、島の北部と南部で総雨量が相対的に多い。特に礼文アメダス観測地点や礼文町役場のある南部の香深地区では、200mm前後の多量の降雨を観測されたと報告している。

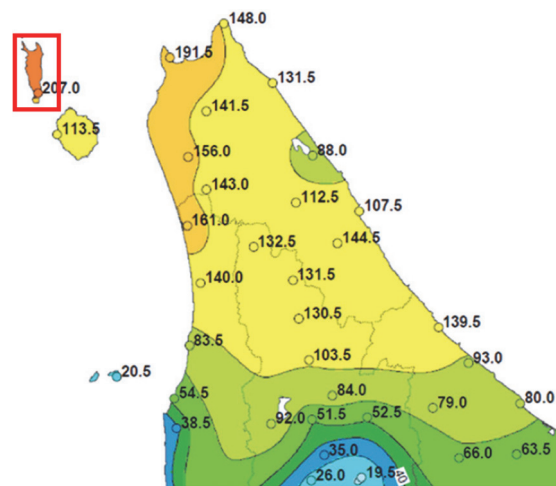


図-4.5 平成26年8月23日~24日の総雨量⁷⁾

25mm程度となるまで降り続いた雨は夜間に一旦止んだ。しかし、8/24の早朝からの降雨では特に6時~9時の間は3時間雨量93mm、最大時間雨量37mmの集中豪雨となった。この間、土砂災害警戒情報が発報されている。土砂災害は、時間雨量が小康状態となった8/24の13時頃に発生している。

図-4.7は8月1日1時から雨量で作成されたスネーク曲線を示している¹⁰⁾。いずれの観測地点におい

第5章 寒冷および凍結融解による地盤の災害

5.1 はじめに

北海道のような積雪寒冷地では、冬になると地域によって深さに違いはあるが地盤は凍結する。このとき凍上の3要素と呼ばれる条件が揃うと土や岩は凍上し、これに伴って発生する凍上力や凍着凍上力が道路をはじめとする様々な地盤構造物に被害をもたらすことがある。また、北海道では春になると凍結していた地盤はほぼ全て融解する。このときも凍結融解作用そのものや、それに伴う土中水分の上昇によって地盤は脆弱化し、雨水や融雪水の供給をきっかけに道路斜面が崩壊するなど、様々な地盤構造物に被害をもたらすことがある。本章では、このような地盤の凍結融解に伴う各種地盤構造物の損傷も地盤災害の一つとして捉え、本節で北海道の寒冷および凍結融解に関連する気象特性や、これによって生じる様々な地盤災害のメカニズムやその対策に関する概要をまとめた上で、次節以降には近年発生した寒冷および凍結融解に起因する被災とその対策に関する詳細事例を幾つか紹介する。なお、ここで取り上げた事例を含む、それ以前の被害や対策に関する詳細については文献1), 2)も参考にして頂きたい。

5.1.1 北海道の気象特性

図-5.1は寒冷および凍結融解に関連する気象特性がまとめられたものである³⁾。また、図-5.2は北海道内の代表的な5都市における過去50年間の凍結指数と最大積雪深の推移を比較したものである。なお、北海道の冬は年を跨ぐため、凍結指数や最大凍結深はその冬が始まった年の値として示している。同じ北海道内であっても地域によって凍結指数や最大積雪深には大きな違いがあることが確認できる。地盤の凍結深さは積雪による断熱効果の影響を大きく受けるため、同じ凍結指数であれば、積雪深が小さいほど凍結深さが大きくなる。このため、一般的には少雪寒冷な帯広や釧路が位置する道東では凍結深さの大きさに起因する凍上被害が生じやすく、積雪量が多い札幌や旭川が位置する道央や道北では融雪期の災害が生じやすいと言える。

図-5.3は道内160箇所得られた各年度の凍結指数を確率年数に換算し、平均値で表したものである

4). 1980年代までは20年確率を超える凍結指数の冬が繰り返し訪れていたが、平成元年(1989年)以降では平成12年(2000年)が25年確率程度の凍結指数となっている。このことは図-5.2からも確認でき、この年は最大積雪深も比較的小さいことが分かる。このため、この年は凍上による道路被害が相次ぎ、

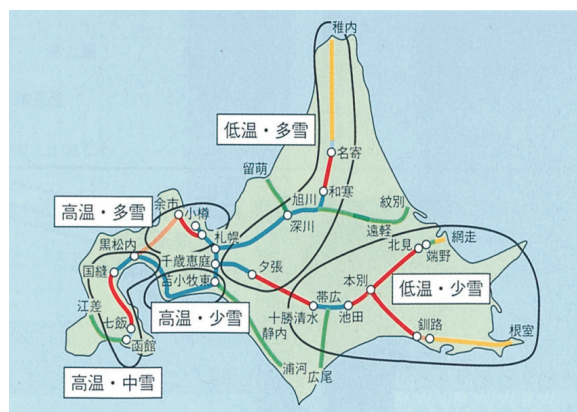


図-5.1 北海道内の気象特性

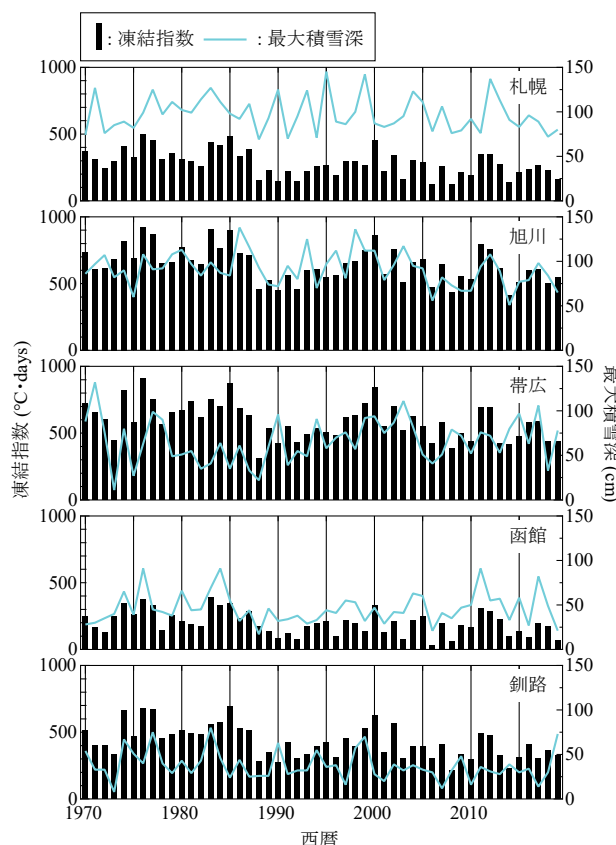


図-5.2 道内5都市の凍結指数と最大積雪深の推移

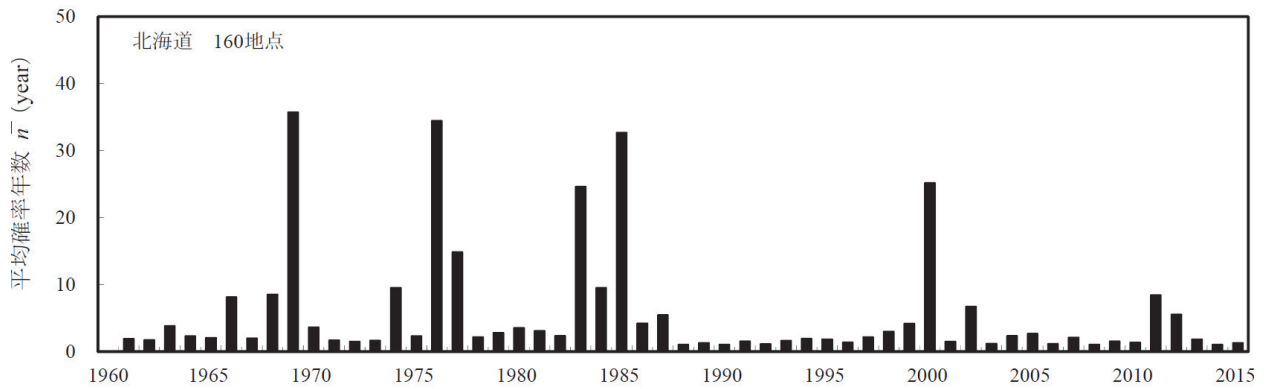


図-5.3 北海道における冬の発生頻度

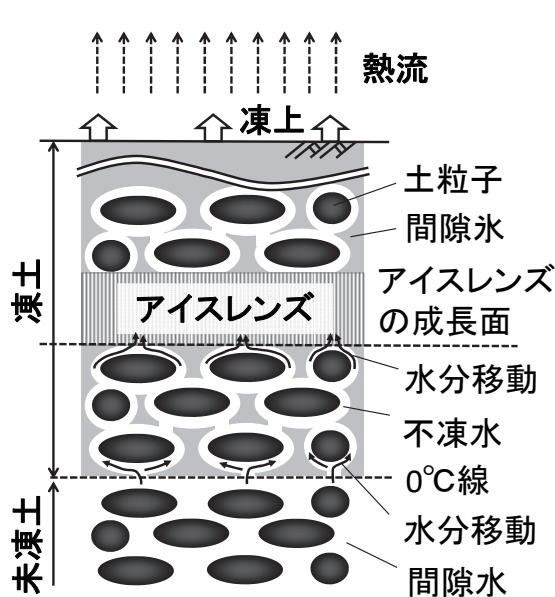


図-5.4 凍上に関する模式図¹⁾

国土交通省では凍上災が認定され、災害復旧事業が行われた。なお、凍上災の採択要件は以下の2点とされることが多い。

- ① その冬の凍結指数が10年確率凍結指数を超えていること
- ② アスファルト厚が30mm 以上のアスファルト舗装道路であること

5.1.2 災害メカニズムと対策の概要

図-5.4は凍上しているときの土中を拡大した模式図である¹⁾。気温が低下して地表面から地中に向かって凍結が徐々に進むと、あるところで凍結面が停滞し、そこに向かって未凍土側から水が移動して氷の層（アイスレンズ）を形成する。そして、気温が低下して熱的バランスが崩れると、凍結面はさらに深部へ移動し、凍結面が停滞したところで再びア

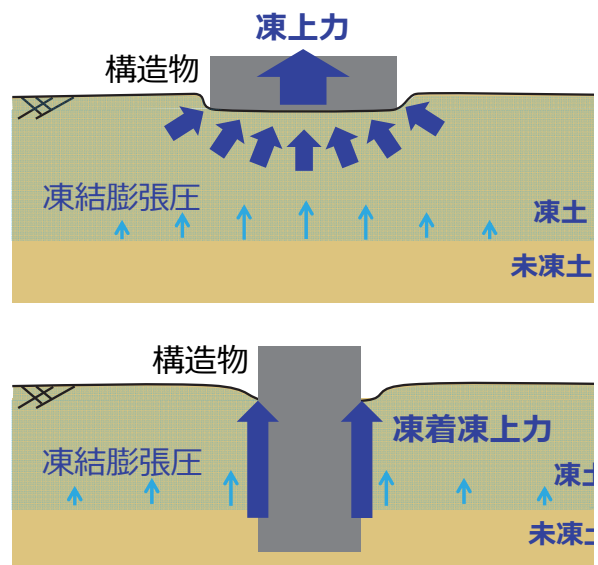


図-5.5 凍上力と凍着凍上の発生機構¹⁾

イスレンズができる。これを繰り返して地中にアイスレンズが幾重にも形成され、地面が持ち上がる。

図-5.5は凍上によって生じる地表面に設置された構造物に作用する凍上力と、地中に埋設された構造物に作用する凍着凍上の発生機構に関する概略図である¹⁾。凍上力については、周辺地盤の凍上力が凍土を介して構造物に伝達されるため、大きな力になりやすい。凍着凍上については、構造物と凍土の凍着力によって周辺地盤の凍上とともに持ち上げられるが、融解期には深部は凍着したまま地表面から融解するため、元の位置まで戻らないことが多い。

写真-5.1は最も代表的な凍上被害である舗装路の損傷例である¹⁾。凍結期には拡幅除雪によって道路横断方向に凍結深さの違いが生じるため、写真中のようなクラックが発生しやすい。また、融解期には凍結面に向かって未凍土側から移動・集積した水

分が融解し、支持力が低下した状態で重車両が通過するため、亀甲状のクラックが生じやすい。

写真-5.2は構造物の代表的な凍上被害を示したものである^{1), 5)}。擁壁や補強土壁の上部は積雪による断熱効果が期待できないだけでなく、天端部分からも寒気が侵入するため、凍結深さが大きくなる。また、凍上力は凍結面と垂直方向に生じるため、L型擁壁ではコーナー部分が凍上力によって損傷し、補強土壁では補強材との接続部分が損傷する事例が報告されている。他にも、ボックスカルバートやU型排水工では内側からの寒気の侵入に伴う凍上力によって損傷する事例が報告されている^{2), 6)}。

舗装路や構造物の凍上対策としては、凍結範囲の大部分を凍上性が低い材料と置き換える置換工法による対策が一般的である。舗装路については一般に理論最大凍結深さの7割の範囲にある路床土を非凍上性材料で置換しており⁷⁾、構造物の置換範囲もこれを準用することが多い。しかしながら、熱伝導解析技術の発達や断熱材性能の向上、ライフサイクルコストや環境負荷も考慮すると、置換範囲の変更



写真-5.1 舗装路の凍上被害例¹⁾



や断熱工法の活用といった対策方法の見直しを検討すべき時期に差し掛かっていると考えられる。

写真-5.3は凍結融解によって生じた極表面をすべり面とするのり面の崩壊例を示したものである⁸⁾。次節以降には、多量の融雪水が原因となった比較的規模の大きな崩壊例も紹介されているが、この種の崩壊は凍結融解を繰り返すのり面表層が透水性の高いゆるみ層となること、凍土域の透水係数が低い



L型擁壁の前傾¹⁾



補強土壁の崩壊⁵⁾

写真-5.2 構造物の凍上被害例

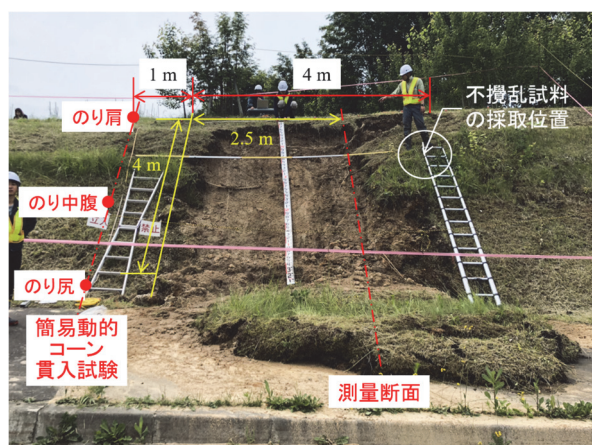


写真-5.3 のり面の崩壊例⁸⁾

第6章 泥炭地盤による災害

6.1 はじめに

本書の2.2.2で述べた通り、泥炭とは、枯死したヨシやスゲなどの湿性植物の遺骸が、低温かつ（あるいは）多湿の条件のもとで、長年にわたり分解が不十分なまま堆積してできた高有機質土であり、北海道では、低平地において頻繁に遭遇する代表的なローカルソイルである。泥炭は、高含水で極めて軟弱な土であり、著しく高い圧縮性と小さいせん断強度を持っている。さらに、泥炭地盤では地下水位が高いのが一般的であり、地表面とほぼ同じ高さに地下水位があることも珍しくはない。

泥炭地盤に盛土や構造物を築造すると、その軟弱さ故に、すべり破壊、大きな沈下、周辺地盤の変形および地盤振動・騒音などの問題が生じる。地盤災害という観点からは、広域的な沈下と地震による盛土被害を起ししやすい地盤といえることから、本章ではこの2つの災害について述べることにする。

泥炭地盤の沈下を災害として扱うかについては、意見の分かれるところかもしれない。特に、建設工事における工事の対象構造物（例えば、盛土など）およびその周辺の局所的な沈下は、無視し得ない大きな問題ではあるが、原因が明らかでないこと、突発的に生じる事象ではないこと、対象となる構造物自身が原因であり、沈下が発生する範囲が限定されることなどから災害の範疇とは言えないと思われる。一方、盛土や構造物などの荷重以外の要因によって広範囲にわたって地盤が沈下する広域沈下（地盤沈下と呼ばれることもある）は、地震や豪雨などによる災害と比べて相当に緩慢な速度で進展する現象とは言え、局所的な沈下と違い被害の範囲が不特定で広範囲なことから、本書では災害と捉えることとし、6.2において詳述する。

泥炭地盤は、地震の際に被害が生じやすい地盤として知られてきた。事実、北海道において発生した大規模地震において、泥炭地盤上の河川堤防、道路・鉄道盛土に甚大な被害が生じている^{例えば1),2),3),4)}。

図-6.1は、昭和57年（1982年）浦河沖地震における札幌市内の揺れ具合を詳細に聞き取り調査し、それを震度分布に表したものである⁵⁾。このときの気象庁発表による札幌の震度は3であったが、泥炭地盤が分布している札幌市北東部では震度が大きく、



図-6.1 1982年浦河沖地震における札幌市内の震度に関する聞き取り調査結果

表-6.1 北海道胆振東部地震における札幌市内の震度（気象庁）

震度	観測地点名
6弱	東区元町
5強	北区太平, 北区篠路, 北区新琴似 白石区北郷 手稲区前田 清田区平岡
5弱	豊平区月寒東 西区琴似 厚別区もみじ台
4	中央区北2条, 中央区南4条 南区川沿, 南区石山
3	南区定山溪温泉

地盤の良い中央区、南区では比較的震度が小さいことがわかる。表-6.1は、北海道胆振東部地震の際の札幌市内の気象庁発表震度である。ここでも、東区や北区の震度が大きく、中央区や南区の震度が小さい。これらのことは、泥炭地盤では比較的揺れが大きいことを示しており、泥炭地盤上の盛土に被害が多く発生してきた要因の一つであると思われる。しかし、このような地震による慣性力だけでは、泥炭地盤上の盛土被害を説明できないこともわかってきており⁶⁾、この被害事例および被災のメカニズムについて、6.3において詳述する。

6.2 泥炭地盤の広域沈下

6.2.1 広域沈下の定義

広域沈下の定義には、様々なものがあると思われるが、ここでは「相当な広さを持った地域の軟弱な地盤が、地下水位の変動などの社会的環境要因によって比較的緩慢な速度で長期にわたって沈下する現象」とする。したがって、建設工事などでしばしば問題となる、盛土や構造物などの築造による明らかな荷重増加が地盤内に伝播し、その限定された範囲内で発生する局所的な沈下現象は、本章では扱わない。都市域の元々標高が低い箇所において著しい広域沈下が生じると、洪水時のリスクが高まるなど人命あるいは生活を脅かす大きな問題に繋がることになるため、広域沈下は都市防災を考える上で看過できない現象といえる。また、土木・建築構造物の機能にも重大な支障を来したり、杭基礎で支持された構造物とその周辺地盤の間で不同沈下(写真-6.1)が生じる原因ともなることから、日常生活の中でも問題となり得る。

我が国では、第二次世界大戦後から1970年代の高度成長期にかけて、産業活動の活発化に伴い沖積平野の広域沈下が目立ってきた。少し古いデータではあるが、代表的な沖積平野における広域沈下の状況を図-6.2⁷⁾に示す。場所によっては、1970年代までの累計沈下量が200~400cmに達する事例もあり、この主な原因が工業用水の過剰揚水であることがわかってからは、各地で揚水規制が行われ、広域沈下が沈静化に向かった。

一方、北海道の泥炭地盤では、明治末期頃から土地利用が始まり、第二次世界大戦後に本格的な開発が行われてきた。この中で、治水対策の一環である河川のショートカット事業および大規模な農業基盤整備事業としての排水路整備や客土改良が実施された。その結果、劣悪な土地として開発から取り残されてきた原野が、生産性を持った穀倉地帯へと大きく様変わりを遂げたのは周知の通りである。しかし、この開発行為が泥炭地盤の広域沈下を招く要因にもなっているのである。次節以降において、泥炭地盤の広域沈下の観測事例(6.2.2)および地下水位の変動と広域沈下の関係(6.2.3)について述べることにしたい。なお、泥炭地盤の広域沈下については、本書以外に地盤工学会北海道支部が編纂した成書⁸⁾に詳しいので参考にして頂きたい。



写真-6.1 住宅地と道路との不同沈下 (段差)

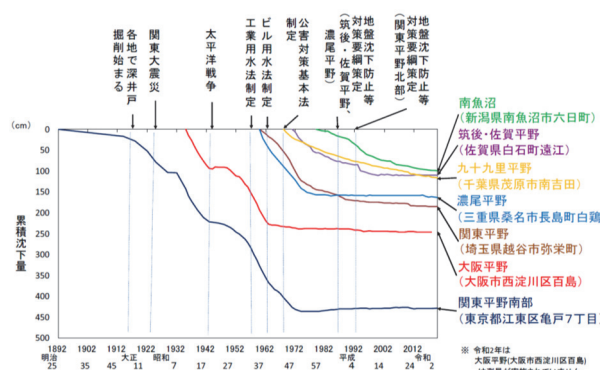


図-6.2 代表的な沖積平野の地盤沈下の経年変化⁷⁾

6.2.2 広域沈下の観測事例

環境省によれば、北海道内において地盤沈下が生じている地域としては、石狩平野、釧路平野、十勝平野、勇払平野があげられている。このうち、札幌市とその近郊(石狩平野)および釧路市域(釧路平野)では、公害問題としての広域的かつ長期的な地盤沈下現象の把握を目的として定期的に水準測量を実施している。

本項では25年以上の測量が継続されている札幌市とその近郊の事例を紹介する⁹⁾。

(1) 札幌市とその近郊での観測経緯

地下水揚水量の最も多い札幌市中心部は良好な地盤の豊平川扇状地上に位置し、北から東側には表層が主として泥炭・粘土・シルトからなる軟弱な低地が広く分布している。この低地の軟弱地盤の下には、扇状地に連なる被圧帯水層が分布する。

このような、地域の地形・水理地質的な特徴から、札幌市中心部の揚水量が増加すれば、低地の軟弱地盤が沈下することが予想されていた。そこで、札幌

市は昭和48年（1973年）から、地下水揚水に伴う地盤沈下現象を把握する目的で市内の中心部や低地に水準点を配置し、一級水準測量を開始した。

水準点は、年々その数を増し、昭和53年（1978年）には札幌市内低地部のほぼ全域に配置された¹⁰⁾。なお、測量は、札幌市西区西野の岩盤（第三紀西野層の凝灰岩）に設置した水準原標を不動点とし、10月1日を基準日にして毎年実施されている。原標の変動については、国土交通省国土地理院が、小樽市の忍路験潮所から札幌市内に路線をつける際に点検している。

北海道は昭和53年（1978年）から、札幌市の路線を延長するような形で、江別市、当別町、石狩町（現在は石狩市）に路線を設定した。また、野幌丘陵と石狩丘陵に水準原標を設置した。

これらの測量から、札幌市とその近郊では、地盤沈下は表層地質に大きく影響され、特に泥炭分布地域で沈下が大きいたことが確認された。沈下域は、水準点近傍の工事などの影響を受け、大きな沈下を示す水準点が年ごとに変わるといったことが明らかになってきた。

また、白石区東米里泥炭地などにおける調査から、泥炭地の沈下は、いわゆる地下水揚水に伴う沈下とは異なり、ごく表層部の地下水位変動や泥炭特有の土質特性に由来し、沈下が泥炭層のみで生じていることもわかってきた¹⁰⁾。

(2) 観測体制の再構築 — 泥炭の特殊性による公害問題からの分離 —

泥炭地を宅地化して、道路整備や上下水道工事といった社会基盤整備を行えば沈下は必然的なものであり、その土地が安定化していく過程であることから、地下水揚水に起因する地盤沈下といった公害問題とは分離するといった方針のもと札幌市は、昭和60年（1985年）以降、次のように観測体制を再構築した。

開発初期段階の泥炭地にある水準点を含む路線については、3年に1度程度測量（平成5年（1993年）の測量水準点数は168点）して状況を把握することとし、一方、地下水揚水に起因して地盤沈下が生じる可能性のある地域については、ある程度開発が進んでいる泥炭地を通るように路線を設定して、毎年、測量（平成7年（1995年）の測量水準点数は77点）することとした。

それとともに、近傍で工事などがあって沈下量が

大きくなった水準点（大抵の場合、泥炭地）は、直接地下水揚水に起因しないものとして、事故点として取り扱うことにし、市街化調整区域（多くは泥炭地）についても、測量しないことにした。このように水準測量の体制をいったん整理して、札幌市とその近郊の水準測量は、現在まで継続されている。

この間、北海道、札幌市などは、地下水位・地盤沈下観測所を設置し、地下水位や地盤沈下の季節変動をおさえ、また、地下水揚水量についても把握されるようになってきた。

図-6.3¹¹⁾に測量が実施されている水準点の分布状況を示す。毎年水準測量を実施しているのは札幌市の中心部から低地部の北西側の地域で、石狩湾新港地域に延長されている。また、地盤沈下問題と目的は異なるが、河川管理との関連で北海道開発局も地下水位観測を継続しており、地下水位観測所と地盤沈下観測所の位置も併せて示してある。

(3) 地下揚水による地盤沈下と泥炭地の沈下の状況

測量・観測を継続していた1980年代中頃、地下鉄東豊線の工事が行われ、工事終了に伴って、札幌市とその近郊の地盤沈下について、以下のような重要な知見が得られた。

地下鉄工事に伴う排水により札幌中心部の地下水揚水量が増加すると、図-6.4¹²⁾に示すように北側へ広がる北部低地に地下水位低下域が広がり、それに応じて沈下が生じた。一方、工事の完了により地下水揚水量が減少すると地下水位は急激に回復し、図-6.5¹³⁾に示すように泥炭地以外のところでは、地盤もリバウンドし、その後沈下は生じなかった。

札幌市は、地下水節水指導要綱を作成して、地下水揚水量の増加を抑制してきた。これは、当時の地下水揚水量程度で推移すれば、地下水揚水にともなう地盤沈下は生じないであろうと予測されていたからである。

東豊線工事（札幌市中心部の地下水揚水量が約50%増加）と終了（地下水揚水量が現状回復する）というフィールド実験により、そのことが確認されたのである。このように、これまでの長年の測量や観測により、札幌市とその近郊の地盤沈下については、その挙動がかなり把握できるようになってきている。

第7章 自然災害から地盤を守るために

7.1 地震に対する防災に向けて

本書では、昭和43年(1968年)以降に発生した昭和43年(1968年)十勝沖地震、昭和57年(1982年)浦河沖地震、平成5年(1993年)釧路沖地震、平成5年(1993年)北海道南西沖地震、平成6年(1994年)北海道東方沖地震、平成15年(2003年)十勝沖地震、平成30年(2018年)北海道胆振東部地震の液状化被害をはじめ、斜面崩壊などの斜面被害ならびに土木施設・構造物の被害についてその被災状況とその後の復旧・対策について取り纏めている。地震災害は、広域災害となるため、その被災形態は多岐に亘り、地盤工学会をはじめ、土木学会などの学協会や国・地方自治体により包括的な調査研究が行われてきた。それらの調査研究で得られた知見・経験により前章で述べたような耐震性能の高度化が図られている。ここでは、経験した北海道の地震災害の特徴を述べ、防災上の観点から、今後の地盤工学上の課題について言及したい。

北海道は、本州と比べ、その地域性から主に3つの地盤工学的問題をあるとされている。1つは積雪寒冷気候によるもの、2つ目と3つ目は泥炭、火山灰質土の力学的特異性によるものである。これら3つの問題は、現在もなお技術者を悩ませている。今回提示した7地震においてもこれらの問題に起因した被害は多い。例えば、厳冬期に発生した釧路沖地震では、避難や凍土地盤の復旧対応の難しさ、加えて厳冬期の特徴的な被災形態があることが明らかにされた。また、すべての地震で共通する、泥炭地盤上に構築された盛土等の沈下・崩壊による被害や、火山灰質土からなる斜面の崩壊や地盤の液状化被害が数多く報告されている。これらの地域性を考慮した地盤工学的問題の解決が地震被害低減に結びつくことは確かである。

一方、先人たちの努力によって、地震被害調査や力学挙動解明に関する研究が精力的に進められ、多くの工法が提案されており、耐震性能の高度化が急速に進んできた。釧路地震以降、多様な対策技術が取り入れられ、例えば港湾においては、サンドコンパクション工法、グラベルドレーン工法などの液状化対策や泥炭等の軟弱地盤上の盛土では水抜きパイプの敷設をはじめ、押さえ盛土・ふとんかご工・

シートパイル工法が採用されている。近年では、補強土工法や鋼製箱枠による対策も提案されている。これらの対策工は、特に1993年～1994年の釧路沖地震、北海道南西沖地震、北海道東方沖地震の3つの巨大地震を経験したことから、その効果も実証されている。我が国の地震対策の先駆けとして行われている事例も少なくなく、日本の耐震技術の向上に寄与している。

我が国は、環太平洋変動帯に属し、世界的に見ても地形的・地質的に地震・地盤被害を受けやすい国土である。今後発生する地震災害のリスク軽減のためには、北海道も含め日本列島はおおむね軟弱な地盤から構成されていることから、(1)地盤情報を把握すること(現在では行政機関等から地盤情報が入手可能)、(2)地盤災害の歴史(履歴)を把握することが極めて重要であり、仮に地盤条件が悪く、災害リスクが高いとしても(3)杭打ち、水抜きなど、現在の工学技術で地震・地盤災害リスクはかなり軽減可能と考える。

一方、地盤工学的な課題としては、地盤の液状化型被害が顕在化していることから、(1)盛土・埋土地盤の動的強度の合理的予測法の提案、(2)地盤材料(泥岩、軟岩、火山灰質土など)の経年変化や気候変動による変状の評価、破碎性が問題になる地盤・材料の力学の確立、凍結・凍上・融解現象を網羅した積雪寒冷地工学の確立が急務であると言える。今後、発生が予想される日本海溝・千島海溝沿いの超巨大地震に備え、さらなる工学の進展に期待したい。

7.2 豪雨に対する防災に向けて

本書では、主に昭和56年(1981年)8月(56水害)、平成26年(2014年)8月、平成26年(2014年)9月、平成28(2016年)年8月の豪雨で発生した斜面、堤防、道路、鉄道の被害について、被災時の気象条件、被災形態と、その後の復旧や対策工について取りまとめている。これまで北海道は他の地域と比較すると降雨量が少なく、降雨に起因する地盤災害の発生頻度は決して多くなかった。しかし、平成28年(2016年)8月の豪雨では観測史上初めて北海道に4つの台風が上陸・接近し、これによる記録的な降雨によって北海道全体で激甚な地盤災

害が発生した。そのような中で、昨今の地球規模の気候変動によって、我が国では特に北海道で大きな影響を受け、降雨量変化倍率は世界平均気温が4°C上昇相当時で1.4倍、2°C上昇相当時で1.15倍と報告されている。このまま世界平均気温の上昇を許した場合には、今後、降雨量増加を想定した地盤構造物への防災・減災対策が必要となることは明白である。そこで、本節ではこれまでに発生した北海道での豪雨に起因する地盤災害について概要を述べ、今後の防災・減災上の観点から今後の課題と対応策について言及している。

昭和56年(1981年)や平成28年(2016年)に発生した豪雨災害では、河川堤防の被災が顕在化した。昭和56年(1981年)の56水害では石狩川の堤防で多数の法すべりが発生した。この対策として、勾配の緩傾斜化が実施され、石狩川では大規模な丘陵堤が築堤されている。これらの丘陵堤は完成後に大きな被災が報告されていないことを考えると、降雨に対する安定性向上の1つの方法として、北海道の土質に応じた緩勾配化が有用であると考えられる。平成28年(2016年)の豪雨災害では常呂川で広範囲にわたり、堤防基礎地盤のパイピングが発生した。観測史上最大の降雨によって、河川水位は長時間にわたり既往最大水位を継続し、堤防基礎地盤には大きな水圧が作用したために基礎地盤の砂質層でパイピングが発生したと推定される。噴砂の規模や発生範囲などは、北海道で発生したものとしては過去最大であった。このようなパイピングの発生箇所は旧河道上の堤防であった。開拓・開発の歴史の浅い北海道では、旧河道を知るための資料が他の地域よりも少ない。また、堤防整備が他の地域よりも早くなかったために、旧河道が大きく蛇行している点などは、パイピング発生箇所抽出の課題となっており、今後は北海道の地域特性に応じた効率的な地盤調査手法について検討する必要がある。

道路・鉄道などの交通地盤インフラでは、過去の豪雨災害で長期間の通行止めや運行停止となるような大規模な被災が発生している。豪雨時の安全な通行・運行を実現するためのソフト対策として、降雨量増加に伴う事前通行止めや雨量規制が設定されている。このため、平成26年(2014年)や平成28年(2016年)の豪雨災害では、甚大な人的被害は発生していない。しかし、今後の気候変動予測では時間雨量などの短時間雨量の増加が指摘されており、今後は雨量規制のパラメータに短時間雨量指

標の導入や、レーダー解析雨量などを用いて面的に危険箇所を把握する方法の導入が望まれる。特に北海道では、他の地域と比較すると道路や鉄道管理者の管理延長が広域となり、通行や運行の規制要因が現場に到着するまでに時間を要する。このため、自動や遠隔操作による遮断機を設置した規制方法や解析雨量を使った通行・運行規制のフレームワークなど、昨今の気象観測精度の向上の恩恵とICTやIoTの革新的な技術を積極導入し、人口減少地域において広域に整備された交通地盤インフラの豪雨時における安全利用を確実に達成することが課題と言える。

7.3 寒冷および凍結融解に対する防災に向けて

本書では、北海道のような積雪寒冷地特有の地盤の凍結融解や融雪に起因する各種地盤構造物の損傷も地盤災害の一つとして取り扱った。寒冷地に生活する人々にとって、ほぼ毎年ように向き合わなければならない災害であるが、直接的に人命を失うような大規模災害につながるものが少なく、対処療法的に対策を講じてきたこともあってか、現在でも多くの課題が残されたままになっていると言わざるを得ない。そこで、ここでは防災上の観点から、この種の災害に関する今後の地盤工学上の課題について幾つか言及したい。

本書でも取り扱われているように、近年の気候変動によって、極端かつ局所的な豪雪や、降り積もった雪の上に大雨が降るレイン・オン・スノーと呼ばれる現象の回数が増えてきている。暖気や降雨による融雪水量を雨量に換算・推定する方法については、古くから検討されてきているが、特にレイン・オン・スノーでは、凍結・未凍結が混在する地盤への浸透までも考えようとするれば、積雪下の地盤に関する確かな評価は極めて難しいことになる。よって、益々困難になることが予想される春先の道路・鉄道や河川の管理を見据え、これらの評価・推定手法の開発に関する研究が重要になると考えられる。

次に、地盤の凍結については、昨今の熱伝導解析技術の発展にも支えられ、水平地盤に限らず、外気温と構造物表面温度の差異、積雪の効果なども考慮した、より正確な最大凍結深さの推定に関する研究も進められている^{1),2)}。これによって、擁壁やのり面などの道路構造物に関しても、断熱材の設置等によ

って最大凍結深さのコントロールが可能となってきたが、コストの増大という障壁が立ち上がることは否めない。一方、古くから検討されてきた舗装路下の置換深さについては、一般に理論最大凍結深さの7割とされており^{3),4)}、これはすなわち路床の一部は凍結しうることを意味しているが、路面の凍上被害が生じる場所にはかなりの偏りがあるのが事実である。これらの問題を包括的に解決しようとするれば、気象・地理的条件等を考慮した正確な最大凍結深さを評価・予測するための研究を続けていく必要があることはもちろん、凍上性や凍結融解後の強度低下など、凍結した際に問題を引き起こす可能性がある地盤材料の物性と、対象となる構造物の機能保全やライフサイクルコストとを照らし合わせ、凍結させても良い範囲を決定することを目指した研究も必要になってくるのではないかと考えられる。また、特に若手技術者を対象に、採取・試験というプロセスに至る前段階として、凍結融解によって問題を引き起こしやすい地盤材料を見極める力を養うための活動も不可欠と考えられる。

7.4 泥炭地盤に対する防災に向けて

本書において取り扱った泥炭地盤に起因する地盤災害は、泥炭地盤の広域沈下と地震による盛土の被害である。このうち、広域沈下については、地震や豪雨などに比べて非常に緩慢な速度で進展する現象であることから災害という認識が薄いかもしいないが、被害の範囲が不特定で広域なことを考慮すると地盤災害の範疇と言える。北海道内では、石狩平野、釧路平野、十勝平野、勇払平野において広域な沈下が生じているが、とりわけ札幌市とその近郊（石狩平野）では、人口が集中する地域であることも相俟って問題が深刻であった。本書の6.2において詳述した通り、泥炭地盤の広域沈下は地下水位の変動と密接に関連している。泥炭地を宅地化して、道路整備や上下水道工事といった社会基盤整備を行えば沈下は必然的なものであり、その土地が安定化していく過程であるという見方もある。その意味では、広域沈下を一切発生させないという観点（防災）よりは、地下揚水をコントロールしながら過大な広域沈下の抑制を図る減災の観点が必要な地盤災害ではないだろうか。このためには、本書で示した地下揚水と広域沈下の関係が役に立つと思われる。

地震による泥炭地盤上の盛土被害については、平成5年（1993年）釧路沖地震において「盛土の液状化」という新たな現象が顕在化して以降、複数の研究者や研究機関がこの問題の解明に取り組んできている。平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震において、この盛土の液状化現象によって粘性土地盤上の河川堤防が多く被災したことによって、盛土の液状化が泥炭地盤における特殊な現象ではないことが広く認知されたが、圧縮性が極めて高い泥炭地盤において生じやすい現象なことには変わりはない。現時点において、盛土の液状化現象の発生メカニズムなどは明らかになっていると考えられるが、今後は、盛土の特性を踏まえた迅速な復旧等の震後対応を考慮しつつ、盛土の機能への影響を最小化し、切迫する大規模地震時でも機能を確保可能な耐震補強法の確立が求められている。さらに、泥炭地盤上には、既に相当延長の道路盛土や河川堤防が築造されていることを考えると、ボーリングやサウンディングなどの点における地盤情報に加えて、盛土の弱点箇所を面的に捉える技術の開発も急務である。

7.5 おわりに

（公社）地盤工学会では、平成8年（1996年）9月に、地盤工学分野の技術領域に関わりの深い災害で、技術的に重要な災害、あるいは社会的な関心が高い災害であり、学会としての対応が望まれると判断される災害の発生に対して、時機を失すること無くその社会的責務を果たすために、学会の初動方針を決定する「災害連絡会議」を制定した。災害連絡会議では、その活動を円滑に進めるため、災害に関わる学会の情報網の各支部における代表となる地方委員ならびに災害地域の情報収集にあたる地方連絡員を配置している。参考として、表-7.1に北海道支部から選出された歴代の地方委員の一覧を示す。

これを受けて、（公社）地盤工学会北海道支部では、重大地盤災害発生時に地盤工学的観点から災害に係わる情報を収集・分析し現地調査を行う「地盤災

表-7.1 北海道支部選出の災害連絡会議地方委員

年度	所属	氏名
平成8～平成11年度	北海道大学	三田地利之
平成12～平成27年度	北海道大学	三浦 清一
平成28～令和4年度	北海道大学	石川 達也

害緊急調査団」の編成・結成および派遣を検討する「地盤災害緊急対応委員会」を平成21年（2009年）4月に設置し、北海道地方における不時の重大地盤災害発生に備えている。その結果、北海道支部地盤災害緊急対応委員会は、これまで「平成28年8月北海道豪雨による地盤災害調査団」と「平成30年北海道胆振東部地震による地盤災害調査団」の二つの地盤災害緊急調査団を派遣し、北海道で発生した重大地盤災害による被災状況の調査、事後の災害対策に資する資料の収集、および関係機関に対する学術的助言等の活動を行ってきた。加えて、北海道支部では、昭和31年（1956年）の創設以来、特殊土、寒冷気候、気候変動などが要因となり北海道内で発生した各種地盤工学的課題に対処するため、産官学の委員からなる研究委員会を表-7.2に示すように随時設立して、被害状況の詳細な調査・把握、被災原因・発災メカニズムの究明、災害の復旧方法ならびに災害対策のあり方の提言等、広い見地にたった検討を精力的に行ってきた。このような先人の継続的な地盤災害研究や防災・減災技術向上への取り組みにもかかわらず、災害規模の差こそあれ毎年のように様々な地盤災害が発生していることは、本書に記載の通りである。

「地盤災害は進化する」とは、北海道大学名誉教授 三浦清一先生の格言であるが、地盤工学分野の研究・技術開発がめざましい発展を遂げている現代においても自然外力による地盤災害の発生が相次ぐ近年の北海道内の被災状況を鑑みると、まさに地盤災害が地盤工学の進展の裏について進化を遂げ

ているようにもみえる。この理由は二つあると考えられる。一つ目は、社会活動の主たる場である地盤の特性そのものに因る場合である。前述のように、道内では地表面近傍の各種地盤材料（泥岩、軟岩、火山灰質土など）は、乾湿繰返しだけでなく繰返し凍結融解という厳しい環境作用を受け経年劣化が生じ易いととともに、気候変動を含む近年の環境条件変化によってその影響はさらに強まる傾向にある。これに対して、地盤の挙動評価に利用される地盤工学は、火山灰質土など粒子破碎性が問題になる地盤・材料の力学や、凍結・凍上・融解現象を網羅した寒冷地地盤工学、の確立などが本書でも今後の研究課題として挙げられており、現状では実現象の評価・分析を充分に行えない面もある。加えて、地盤はその多くが品質管理不適の多様性を有した自然由来の様々な土質・岩質材料で構成されており、自然地盤だけでなく盛土など人為的な地盤の場合についても、土の不均質な堆積状況を正確に広域把握することは難しく、それ故、災害時の地盤の挙動を精確に予測することは難しい。二つ目は、地盤を取り巻く近年の環境変化の影響である。東日本大震災以降活動期に入ったといわれる日本周辺の地震活動や、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次評価報告書（AR5）に記載のある気候システムの温暖化は、地盤環境に対して従来以上の負荷を与える。例えば、国土交通省の「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」は令和元年10月に提言を発表しているが、この中で「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）」を

表-7.2 地盤工学会北海道支部設立の研究委員会

委員会名	委員長	活動期間
火山灰質土の工学的分類委員会	土岐祥介（北海道大学）	H5～H8年度
火山灰地盤の工学的性質の評価法に関する研究委員会	三浦清一（北海道大学）	H11～H14年度
北海道火山灰土の性質と利用に関する研究委員会	三浦清一（北海道大学）	H15～H17年度
北海道の火山灰質土の性質と利用に関する研究委員会	三浦清一（北海道大学）	H20～H22年度
地盤凍上に関する研究委員会	小野丘（北海学園大学）	H15～H17年度
地盤の凍上対策に関する研究委員会	小野丘（北海学園大学）	H18～H19年度
斜面の凍上被害と対策に関する研究委員会	鈴木輝之（北見工業大学）	H20～H22年度
凍上対策工の調査・設計法に関する研究委員会	小野丘（北海学園大学）	H23～H26年度
泥炭地盤の広域沈下に関する研究委員会	神谷光彦（北海道工業大学）	H9～H13年度
泥炭湿原の保全に対する地盤工学の役割に関する研究委員会	神谷光彦（北海道工業大学）	H15～H17年度
気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害リスクに関する研究委員会	石川達也（北海道大学）	H26～H28年度
北海道の地盤災害と防災技術に関する研究委員会	石川達也（北海道大学）	H29～R4年度

用いた分析結果として、北海道の場合、過去気候に対する将来気候下の降水量の変化倍率が、2℃上昇相当（2040年代相当）において1.15倍になるとしている。このため、降雨・地震など災害外力が過去の履歴を超えて増大することが予想され、それに伴い発災が危惧される北海道特有の新しい地盤災害形態の体系化や、被災履歴の少ない潜在的な地盤災害の危険性の評価が、近い将来の地盤災害の防災・減災対策に重要な意味をもつことになる。このように不確定要素の多い地盤の特性とそれを取り巻く環境条件が時々刻々変化していることが、地盤防災工学の進展や防災・減災技術の向上にもかかわらず地盤災害の散発的な発災を招いていると推定される。

一方、災害外力の増加や大規模化あるいは自然地盤・土構造物の経年劣化の進行は、従来型の地盤災害に加え新たな形態の地盤災害の発生を加速すると考えられるが、火山灰質土や泥炭に代表される特徴的ないわゆる特殊土地盤が広く分布する北海道の地盤特性を考慮すると、環境条件の悪化の割には北海道における地盤災害の被災頻度・規模は、ある程度制御されていると考えることもできる。ここに、先人達が積み上げてきた地盤工学分野の研究・技術の発展・進歩の歴史や学術的な功績の一端を垣間見る。例えば、北海道のように特殊土が広く分布する地域では、実務においてそのような土に頻繁に遭遇するため、地盤工学的研究や調査・設計・施工事例の蓄積も多い。このため、それぞれ独自の設計・施工上の対応により特殊土として扱うのではなく、粘土や砂と同じ土質力学の範疇で扱う方法論が発展している分野も少なくない。したがって、それらの地域では、特殊土というよりはむしろ当該地域にとっては普通の土あるいは地域土としての認識が強い。つまり、先人達が知識や経験に基づき施してきた特殊土地盤における災害対策の歴史を紐解けば、現代でも適用可能な様々な価値ある知見やアイデアを見出すことができる。この意味において、道内で発災した重大地盤災害に対する各種災害調査団報告書や、北海道特有の各種地盤工学的課題に対処するための委員会調査研究報告書は非常に意義があると考えられる。その一方で、災害調査団報告書は一つの災害を、また委員会調査研究報告書は一つの研究テーマをそれぞれ対象とした詳細な報告書という位置づけが多い。しかし、発災要因の複合化や被災エリアの広域化を考慮すると、大局的な見地から様々な地盤災害について包括的に議論するこ

との重要性や必要性が近年増している。このような状況を踏まえ、本書では、まず北海道に特徴的に分布する特殊土の材料特性と地域地盤特性および北海道特有の気象条件とその土・地盤への作用について概説し、それを踏まえて既往の各種地盤災害事例をもとに、発災要因・機構の究明および防災・減災技術の向上に関する近年の調査・研究成果等を分野横断的に解説しながら、複合災害を含めた各種地盤災害の防災・減災上の留意点について整理している。また、本書は、同種の地盤災害事例を時系列的に検証していくことで過去に実施された防災・減災対策の効果検証についても検討している。社会が要求する地盤や土構造物の性能レベルが高度化・緻密化し厳格な要求性能が求められる中、今後の北海道の持続的な発展を志向するには、災害発生率と地形・地質情報、土質特性、降雨履歴、地震動予測、凍結融解作用などとの関係性を整理し、学術的な観点から地盤特性と環境条件の地域性および将来のその変化傾向を考慮して新しい複合地盤災害の発災要因・被災形態の顕在化の可能性について検討するとともに、潜在的な地盤災害リスクの評価ならびに気候・気象や地盤の地域性を十分に考慮して災害レジリエンスの強化を図ることが不可欠である。

北海道の地盤災害と防災技術に関係する研究者・技術者が、過去に道内で発災した重大地盤災害の被害状況とその復旧・復興の経緯、今後の同種地盤災害の防止・軽減に関する展望、それらに関連した地盤工学・技術の全体像を俯瞰する際に、また気候変動による気象条件の極端化や活動期に入ったといわれる日本周辺の地震活動の活発化など災害外力の激甚化・大規模化およびそれらの複合化に起因して顕在化してきた新たな自然災害の脅威に備え、複雑化する地盤災害と渡り合える地盤工学や防災・減災技術の学術研究・技術開発の方向性について北海道という地域性を充分考慮して詳細検討する際に、本書を活用いただければ幸いである。

【参 考 文 献】

- 1) 劉爽, 川口貴之, 中村大, 川尻峻三, 小笠原明信, 原田道幸, 林豪人: ジオセルとジオグリッドを併用した補強土壁の凍結指数に応じた壁面材厚に関する検討, ジオシンセティックス論文集, Vol.34, pp.115-122, 2019.
- 2) 松田圭大, 川口貴之, 川端伸一郎, 中村大: 熱伝

導解析を用いた舗装路における凍結深さの予測法
に関する検討, 土木学会論文集 E1, Vol.76, No.2,
pp.I_85-I_92, 2021.

- 3) 公益社団法人 日本道路協会：道路土工要綱（平成
21年度版）, 2009.
- 4) 北海道開発局：令和4年度 北海道開発局 道路設
計要領,
[https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ken/dou_ken/ud49g7000
00011y2.html](https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ken/dou_ken/ud49g700000011y2.html), 2022.

付録 道路・凍上調査写真集

1 資料の概要

この写真集は、昭和26年（1951年）から昭和27年（1952年）にかけて北海道内で広域的に実施された道路の凍上被害調査によるものであり、凍上対策が整備される以前の状況を知るうえでも歴史的に貴重な資料である。

その成果は、伊福部宗夫博士の「北海道における道路の凍上・凍結深さおよび置換率に関する研究」(<https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8706496>)としてまとめられ、現在の凍上対策工法の礎となったことでもよく知られている。

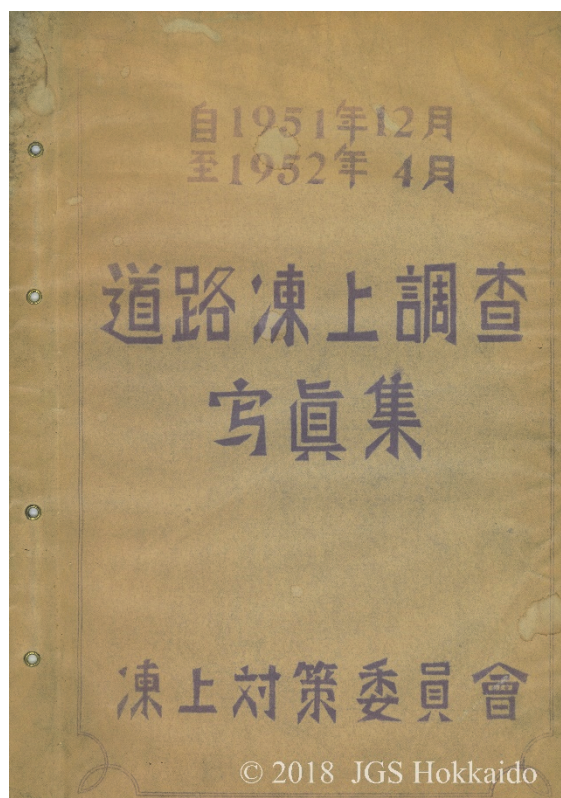
2 画像データの二次利用について

添付 CD の画像データは、次の条件を満たす場合に、特別な手続きを経ることなく二次利用を認める。

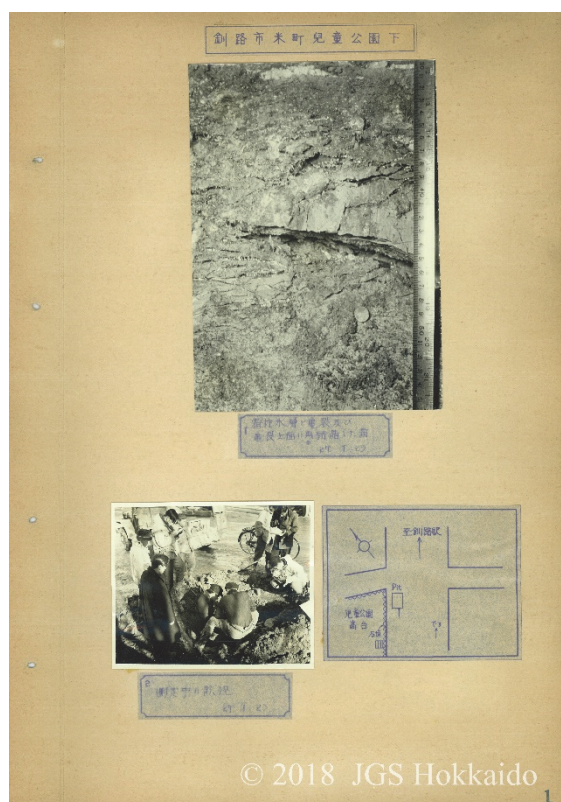
- ・ 本学会が提供する画像データであることを著作権法に定める引用の方法に準じて明示すること。例えば『資料のタイトル』（地盤工学会北海道支部所蔵）など。
- ・ 画像の改変を行った場合は、それを明示すること。改変した画像を、あたかも公開機関が作成・公開したかのような公表は行わないこと。
- ・ 利用者が画像を用いて行う一切の行為について本学会は何ら責任を負うものではない。
- ・ プライバシーその他の人権等に配慮のうえ利用すること。

3 画像サムネイル

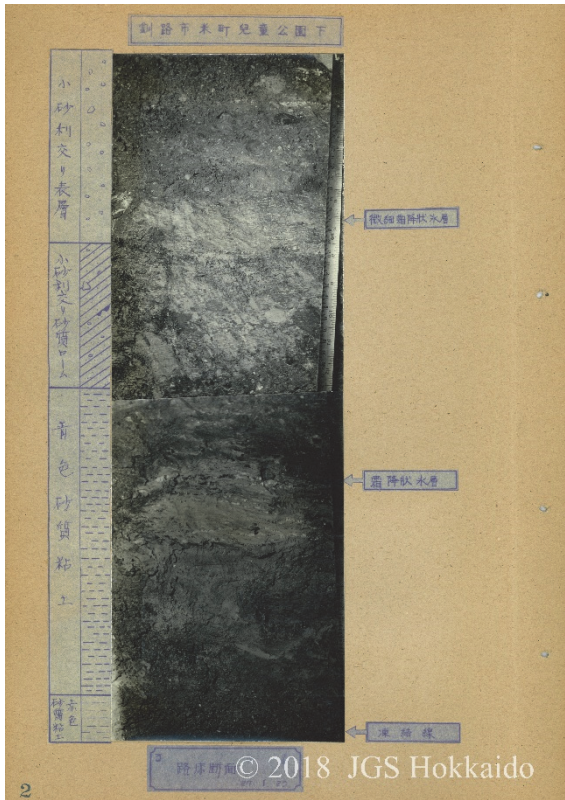
添付CDの凍上写真集フォルダー内にあるサムネイル画像を以下に示す。画像は写真集を、ページ単位で収録した形式と個別写真の形式の2種類で区分してある。



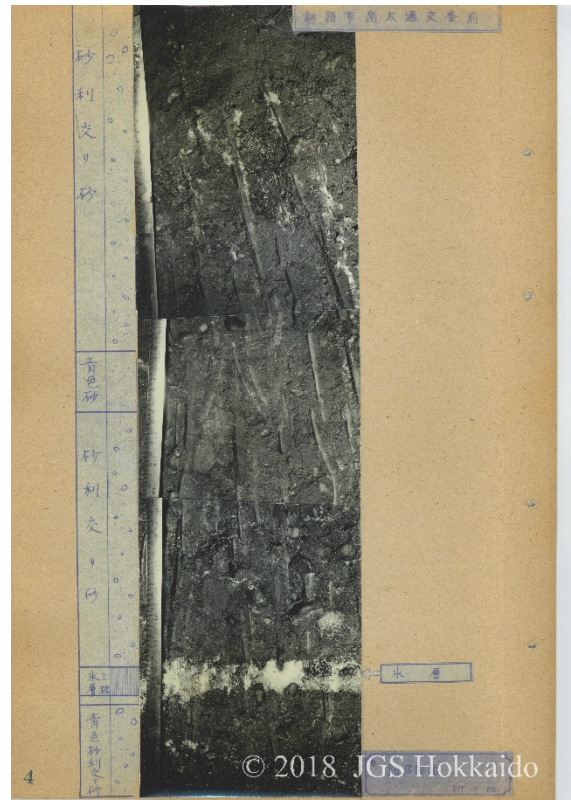
Frost (1).jpg



Frost (2).jpg



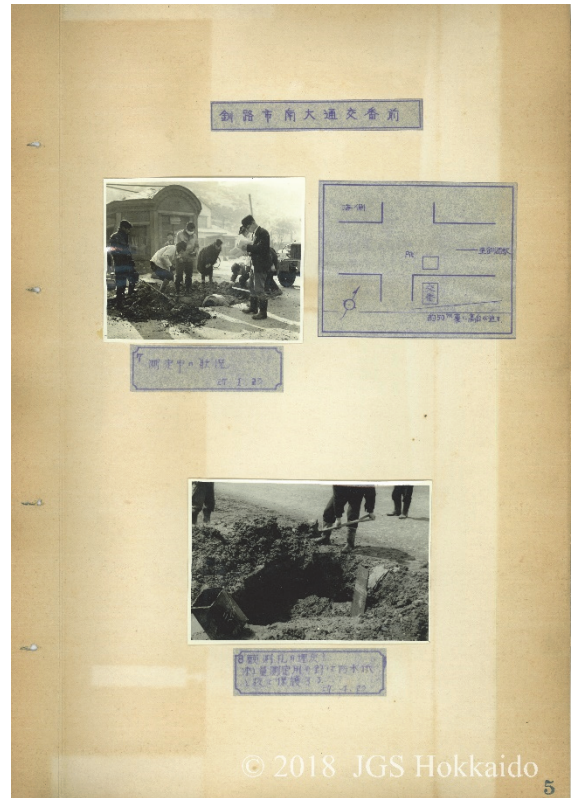
Frost (3).jpg



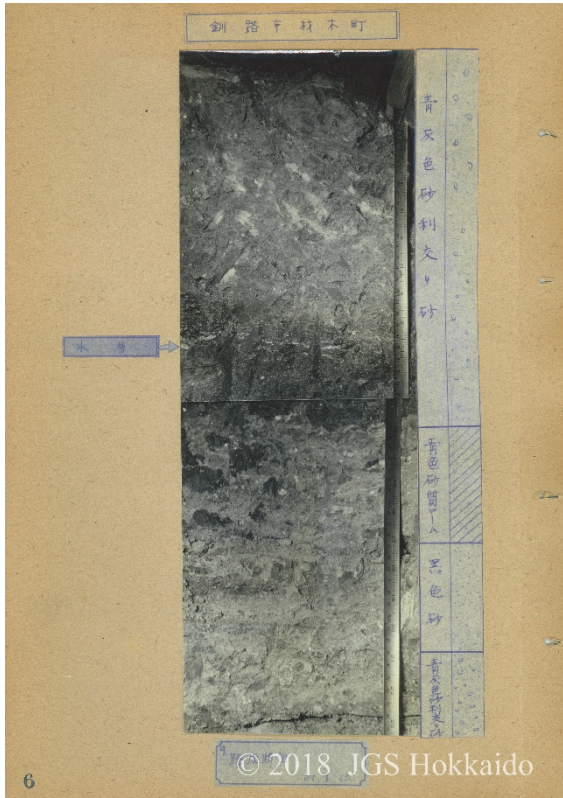
Frost (5).jpg



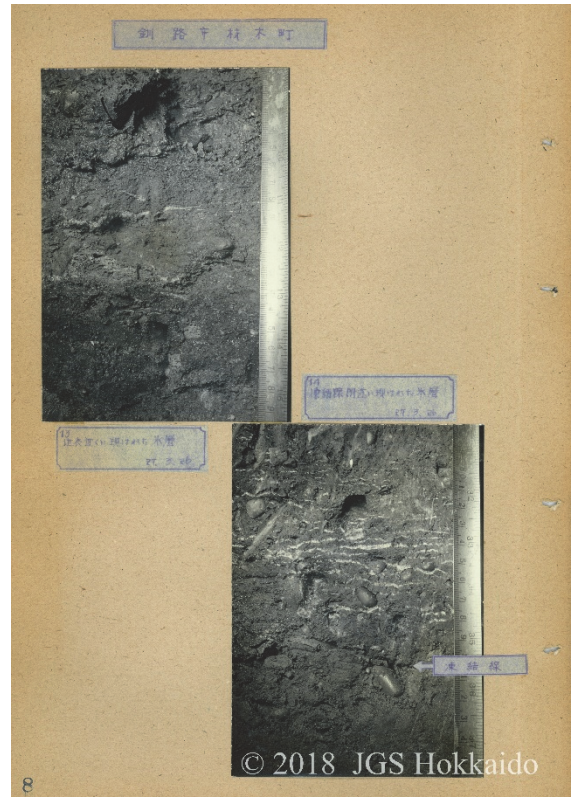
Frost (4).jpg



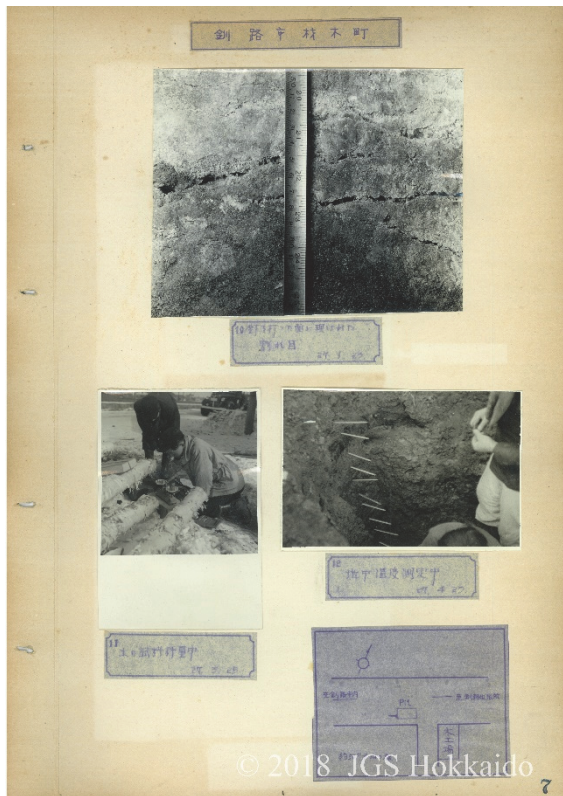
Frost (6).jpg



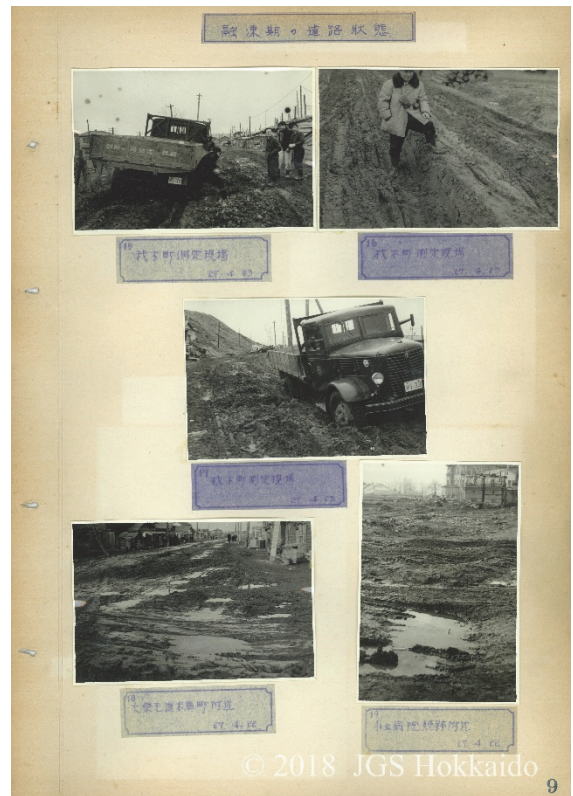
Frost (7).jpg



Frost (9).jpg



Frost (8).jpg



Frost (10).jpg

北海道の地盤と防災

令和5年1月発行（第2版）

編集

発行

公益社団法人 地盤工学会北海道支部
北海道の地盤災害と防災技術に関する研究委員会
〒060-0061 札幌市中央区南1条西2丁目 南一条Kビル 8F
TEL 011-251-7038
E-mail hjgs@olive.ocn.ne.jp

印刷

株式会社さんけい
〒063-0850 札幌市西区八軒10条西12丁目2-48
TEL 011-611-8866