

図-1 北海道の軟岩の分布

るが、西側のは主として神居古潭帯に分布する蛇紋岩，東側の小さな点々とした分布は日高変成帯中に分布する蛇紋岩化を免れたかんらん岩である。

2.1 堆積軟岩

図-2²⁾、3⁴⁾に北海道内の各地から得られた堆積岩の岩石試験の結果を、地質系統別に、有効間隙率と一軸圧縮強度の関係として示す。この図では、風化を免れたものを対象とし、シルト岩を泥岩に入れ、泥岩、砂岩に区別して表示している。これらの図から、地質系統の古いものほど有効間隙率が小さく、圧縮強度が大きくなるのが分かる。堆積軟岩とよばれる一軸圧縮強度が100 kgf/cm²のものについてみると、泥岩、砂岩で多少異なるものの、主として鮮新統と中新統の一部がこれに属する。これらは、強度はもち論、大きい間隙比に由来する大きな変形性、砂岩の一部にみられる大きな透水性などでも堆積軟岩としての特性を有している。

このほかの堆積軟岩としては西部北海道、中央部北海道の北東部、東部北海道の北半部に位置する(表-1⁵⁾)。いわゆるグリーンタフ地域の新第三系の火山砕屑岩が本来の低い強度に、後の変質作用が重なって軟岩に属するものが多い。また、古第三系や白亜系の堆積岩でも、凝灰岩起源のものは風化によって容易にベントナイト化し、軟弱となり、全道各地における古第三系、白亜系分布地域の地すべりの素因となり、切土、盛土の障害となっている。

表-2⁶⁾に北海道を代表する堆積軟岩の物理、力学的性質を青函トンネルの施工実績から引用し示す。

2.2 熔結凝灰岩

北海道には火砕流堆積物が極めて広い面積を占めて分布する。火砕流は火山の噴火により発生し、火山灰、軽石、岩滓、熱雲など高温の火山砕屑物が一団となり、おもに重力の作用によって高速で地表を流下する現象である。小規模のものから100 km³以上のものまであり、分級の悪い軽

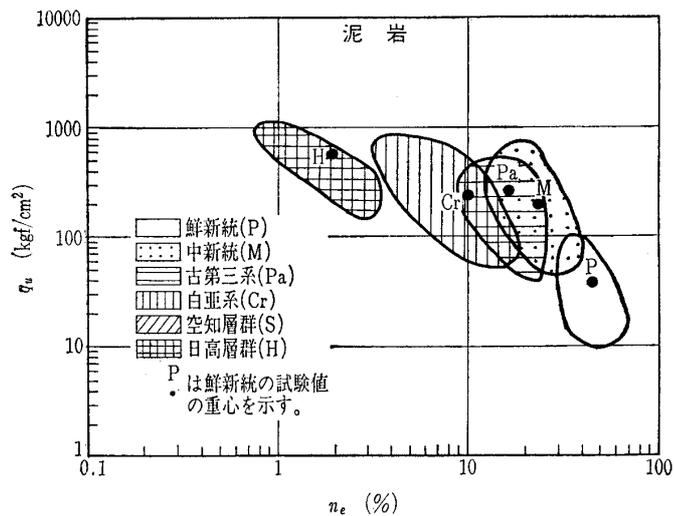


図-2 泥岩の有効間隙率と一軸圧縮強度

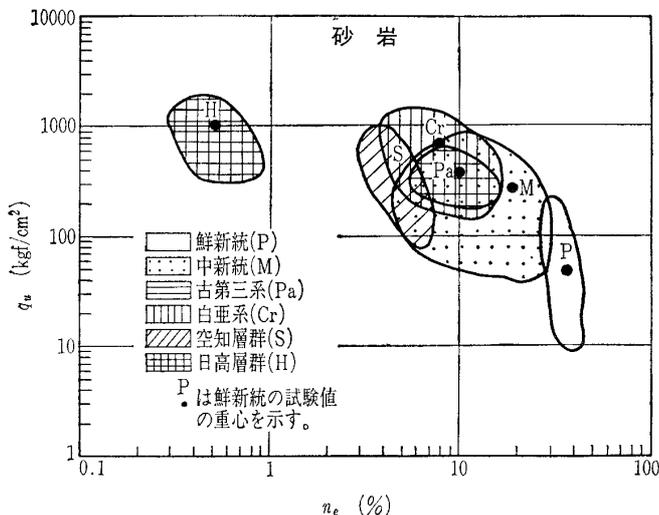


図-3 砂岩の有効間隙率と一軸圧縮強度

石、岩滓、火山灰などが地表の低い部分を流下した分布を示し、上面は平坦で傾斜が緩いのが特徴である。火砕流堆積物の大規模なものは、堆積物自体の大きな層厚による荷重により圧密され、残熱のため再溶融したりして、様々な強さの岩石をつくる。火砕流堆積物はこのような成因のため、

表-1 北海道の主な地層の対比

東北地方	西部	中央部	東部	地域	時代
男鹿半島	渡島半島	石狩	天塩	釧路	千万年
湯西層			大楽毛層	0.01	第四紀
鮭川層		野幌層	釧路層群	0.7	
脇本層	瀬棚層	更別層		1.7	鮮新世
北浦層	黒松内層	勇知層	阿寒層群	5.1	
船川層		追分層	白糠層		中新世後期
	八雲層	岩見沢層	厚内層	11	
女川層					中新世中期
西黒沢層	訓縫層	川端層	増幌層	16	
台島層	吉岡層	滝の上層	常室層		中新世前期
門前層	福山層	鬼志別層 宗谷層		24	

下底と上面に火山灰状の非固結物を残し、内部には固結度が火山岩に近いものまであり実に幅広い物性を示すのが特徴で、これらのうち溶結したものが熔結凝灰岩である。

表-3⁷⁾に道内に産する主な熔結凝灰岩の岩石試験により得られた物性値の一例を、図-4に有効間隙率と一軸圧縮強度との関係を示す。この図から、熔結凝灰岩は様々な強度をもつが、その産地によって有効間隙率と一軸圧縮強度の関係が異なった特性を示すことが注目される。

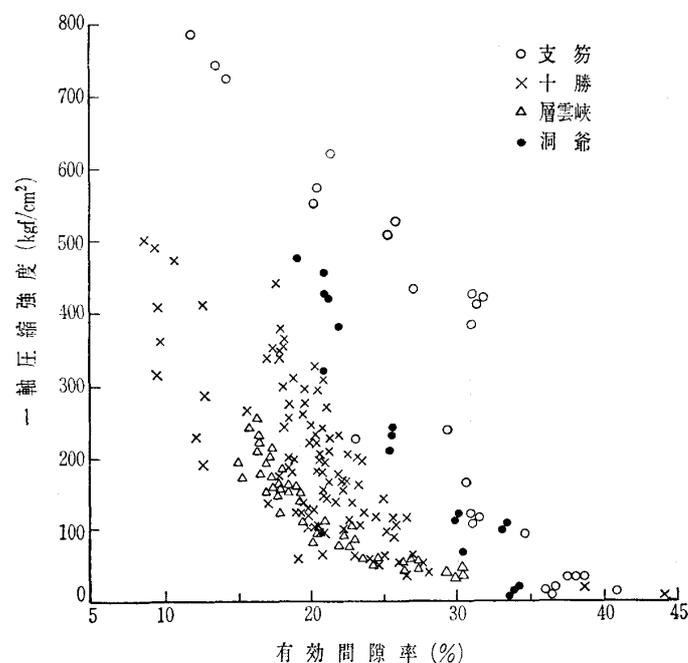
以上のように、熔結凝灰岩のうち軟岩とよばれるものはその一部であるが、これは堆積軟岩と比べ多少異なった特性をもっている。すなわち、同じ程度の強度の堆積軟岩と比較すると、スレーキング、凍結融解などに対する耐久性がはるかに優れており、変形性も小さい。また、砂岩など堆積軟岩では岩石そのものが高い透水性を示すものがあるのに対し、熔結凝灰岩では岩石そのものの透水性は一般に小さく、どんなに高い透水性を示すものでも 10^{-4} cm/s オ

表-2 堆積軟岩の物理・力学的性質 (青函トンネル)

年代	地層名	岩質	比重 (湿潤)	吸水率 (%)	弾性波速度 (km/s)				透水係数 (cm/s)	N 値 (回)	一軸圧縮 強度 (kgf/cm ²)	動的ヤング 率×10 ⁴ (kgf/cm ²)	
					コ		ア						
					P波	S波	P波	S波					
鮮新世	鮮新	黒松内	砂質泥岩	1.82	33.8	1.9		1.9	0.83	2.54×10^{-6}	23/50	14.7	3.6
		黒松内	砂質凝灰岩	1.76	38.5	1.8		1.7	0.64	3.27×10^{-4}	21/50	2.7	2.0
中新世(後)	中新(後)	八雲	硬質毛頁岩	1.82	28.2	2.7						626	13.0
		八雲	シルト岩	1.86	27.7	2.5						583	11.8
中新世中~前	中新前~中	訓縫	砂質凝灰岩	2.08	13.0	2.9						263	18.6
		訓縫	凝灰岩	2.19	13.8	2.9						219	18.2
		訓縫	シルト岩	2.18	10.1	3.1						474	20.7

表一 熔結凝灰岩の岩石試験値 (道内ダム)

試料	採取地	超音波縦波伝播速度 V_{p0} (飽和状態)	見かけ比重 G_{aw} (飽和状態)	一軸圧縮強度 q_{u0} (飽和状態)	有効間隙率	岩質
白金 Wt (十勝熔結凝灰岩)	富良野市東郷, 東郷ダムサイト	(km/s) 3.8	2.44	(kg/m ²) 428	(%) 6.0	肉眼的にみて, 弱い流理構造。浮石少なく, 微小~5mm大の石英含む。中~高溶結, 中新世~洪積世
東郷 Wt (")	美瑛町白金, 白金ダムサイト	2.5	2.36	214	10.5	
フラヌイ Wt(A) (")	美瑛町富美, フラヌイダムサイト(A)	1.2	2.24	271	17.7	
フラヌイ Wt(B) (")	" (B)	1.6	2.22	333	16.9	
喜茂別 Wt (喜茂別熔結凝灰岩)	喜茂別ダム調査地	0.86	2.00	23.8	27.7	ほぼ均質~極めて弱い流理構造。低溶結, 洪積世
漁川 Wtl(1) (支笏熔結凝灰岩)	恵庭市蟹尻, 漁川ダムサイト	1.3	1.59	35	31.6	弱い流理構造を有する。低溶結, 洪積世
漁川 Wtl(2) (")	"	0.85	1.56	32	30.3	"
漁川 Wtm ₁ (")	"	2.7	2.20	593	14.5	強い流理構造を有する。高溶結, 洪積世
漁川 Wtm ₂ (f) (")	"	3.1	2.22	1195	7.7	最も強い流理構造を有する。極高溶結
漁川 Wtm ₂ (m) (")	"	3.1	2.22	1036	9.7	"
漁川 Wtm ₃ (y) (")	"	3.5	2.36	1283	9.0	"



図一 熔結凝灰岩の有効間隙率と一軸圧縮強度

一ダの透水係数であり, パイピングに対する抵抗性も強い。このように熔結凝灰岩の軟岩は, 建設工事における基礎地盤としては堆積軟岩に比べ問題が少ない。一方, 節理の発達によっては, 軟岩がきつ立した懸崖を作ることによる大規模崩落などの障害や, ダム基礎での透水に問題が生ずることがある。

2.3 蛇紋岩

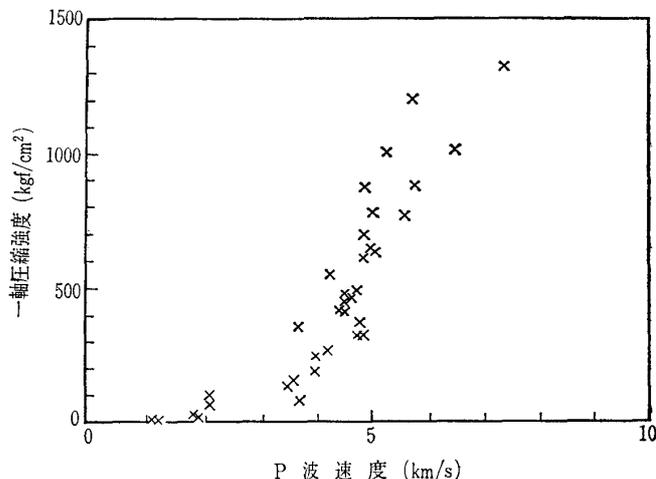
蛇紋岩は, 地殻下のマントル物質 (かんらん岩) が地表近くにもたらされる際に水が付加され, かんらん石 (Mg₂SiO₄) や輝石 (MgSiO₃) が蛇紋岩 (Mg₃Si₂O₅(OH)₂) や滑石 (Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂) に変化することによって形成される。したがって, 大きな目でみると, 地殻深部に達する

破碎帯に沿って分布する岩石とみることができる。蛇紋岩が上記のような形成過程を有するため, 本来強固な硬岩であるかんらん岩は劣化され, 蛇紋岩化や破碎の程度によって様々な強度の岩石が存在し, その強度は外見上の形態から次のように大別することができる。

- (1) 塊状蛇紋岩……節理を有し, 普通の深成岩同様に扱われる硬岩。
- (2) 葉片状蛇紋岩……片状~葉片状にはげやすく, 滑石を含むことが多くなり, 強度は著しく低い。
- (3) 粘土状蛇紋岩……多くの場合滑石を含み, 水を含むと粘土状を呈する。

蛇紋岩類は北海道の中軸である神居古潭帯に沿って点々と分布し, その分布は露出面積でも 500 km² をこえる。

表一 4⁹⁾ に蛇紋岩の代表的施工現場である道央自動車道の嵐山トンネルで得られた物性値を, 図一 5⁹⁾ に神居古潭各地に分布する蛇紋岩の岩石試験によって得られた P 波速度~一軸圧縮強度の関係を示す。



図一 5 蛇紋岩の P 波速度と一軸圧縮強度の関係

表-4 蛇紋岩の物性値一覧表

	膨圧の発生したトンネルの実績値			嵐山トンネルの物性値				
	膨圧 (大)	膨圧 (中)	膨圧 (小)~(無)	結晶片岩		蛇紋岩		
				新鮮	風化	塊状	葉片状	粘土状
弾性波速度 r_p	3.0以下		3.0以上	4.5~5.2	2.2~3.0	3.8~4.2	1.9~2.6	2.1~2.2
一軸圧縮強度 σ_u	3.75, 4.0 6.5, 0.9~1.2	12以下	12以上	255	42	130	32	42
地山強度比 G_N	0.38以下 0.067, 0.5以下	1.5以下 2以下	1.5以上 2以上	2.02~14.2	2.02~4.63	17.8	0.41~0.57	0.04~0.05
塊状率		30以下	30以上					0
吸水膨張	4.4%, 5.36% 3.08%, 3~12%	2.86% 2.47%, 1.0~4.0%				0.02~0.13	0.02~0.4	0.19~1.06
吸水量増加比	実績なし	実績なし	実績なし	0.143	0.143	0.143	0.143	1.14
モンモリロナイト含有量	30%以上	21%	3%		0	0	0	0
蛇紋岩の場合の形状としては	粘土状	葉片状	葉片状塊状					

軟岩と呼ばれるのは、このうち(2)の葉片状蛇紋岩ないし(3)の粘土状蛇紋岩で、両者に含まれる滑石がその物性値を支配している。滑石は硬度1の最も柔らかい鉱物で、これが蛇紋岩中に含まれるとせん断強度を著しく低下させ、トンネル掘削時の緩みや地圧、切土、盛土時のすべりの原因となる。

3. 施工対象による軟岩の問題点

3.1 トンネル

軟岩地帯でトンネルを築造する場合、(1)大きな地圧、(2)支持力不足、(3)坑口付近の斜面崩壊と偏圧などのほか、寒冷地特有の凍上、凍結が大きな問題となる。

表-5¹⁰⁾にそういった軟岩地帯に築造されたトンネル例を示す。この表は主に木矢板方式のトンネル施工例である。近年のNATMの場合は、周辺の岩盤が有している支保能力を最大限に利用し、地山自身のアーチアクションに期待する考えに立っているため、岩石および岩盤の物理・力学的数値をより適確にとらえて評価する必要に迫られている。

3.2 斜面崩壊

地すべりについては、3章(北海道における自然災害と土質工学)で詳述するので、ここでは道路工事に伴う切土のり面の崩壊について述べる。

図-6¹¹⁾は昭和36~50年の間に、北海道開発局の工事で発生した68箇所の斜面崩壊を示している。

これによると新第三紀層、蛇紋岩類、熱水変質岩類等、いわゆる軟岩に発生しているものが多いが、北海道では白亜紀層の崩壊も無視しえないことを示している。これは、北海道における白亜系の分布が、中軸

帯西側の蛇紋岩分布域と密接に関係していることや、白亜系中にしばしばモンモリロナイト質の凝灰岩層を挟んでいることなどによるものと思われる。

また月別発生頻度については、3章の地すべりの項(本号47~52ページ)で述べるように、崩壊の多くは融雪期の4月~5月に集中して発生している。

これらの対策のためには次のような項目が今後の課題として残される。

- (1) 地山の安定性を支配する物性値、特に長期の安定に関するクリープ特性や間隙水圧の変化に対応する地山

表-5 主な特殊地質地帯とトンネル例

地質構造区分	該当地質	代表地域	主なトンネル	留意事項
新第三紀鮮新世~第四紀堆積岩地帯	弱~未固結砂岩・礫岩 溶結凝灰岩周縁非溶結部・火山灰・軽石流堆積物	瀬棚~国縫 大雪・十勝火山群 白老~登別	小函 白老	・湧水・土砂流出
第四紀火山地帯				
新第三紀堆積岩地帯	泥質岩・凝灰質岩	浦幌~音別 天塩~留萌	上厚内 雄信内 小平	・地山強度劣化 ・支持力不足・凍上 ・膨張性地圧 ・地すべり
グリーンタフ地域	緑色凝灰岩 プロピライト 変質帯	積丹半島~室蘭 増毛山地 糠平	礼文華 オロフレ小 送毛 三国	・酸性水・有害ガス ・膨張性地圧 ・地すべり ・支持力不足・凍上
古第三紀堆積岩地帯(新第三紀の一部)	泥質岩・砂質岩 炭層	雨龍炭田 空知~夕張炭田 釧路炭田	夕張 上砂川	・石炭・天然ガス ・褶曲じょう乱帯での湧水・地圧 ・一部軟質岩
白亜紀堆積岩地帯(新第三紀の一部)	泥質岩・砂質岩 油母頁岩	天北・幌加内 空知~夕張 富良野~浦河	三芦 金山	・石油・天然ガス ・地すべり多発地帯 ・一部軟質岩
古期岩類地帯	粘板岩・ホルンフェルス・圧砕岩・ミグマタイト・花崗岩	北見山地 石狩山地 ~日高山脈 松前半島	浮島 大雪 日勝 小砂子	・突発的湧水 ・強大な地圧 ・地すべり ・粘土化部の支持力不足・凍上
神居古潭構造帯	蛇紋岩・結晶片岩	幌内山地 夕張山地	神居古潭 稲里	・膨張性地圧 ・地すべり ・粘土化部の支持力不足・凍上 ・断層・破碎帯

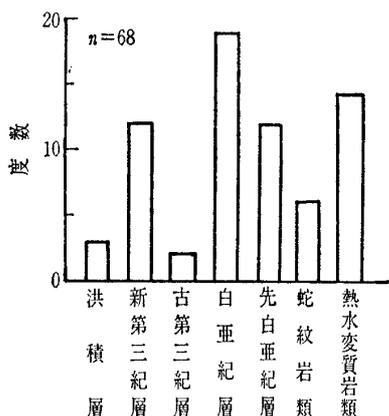


図-6 岩石地層別の地すべり，崩壊発生頻度

表-6 北海道におけるダムの基礎地質

ダム築造年代 地質	昭和20年以前		昭和21年～ 昭和40年		昭和40年以後		計	
	F	C	F	C	F	C	F	C
新第三紀堆積岩	17		7	1	20	1	44	2
古第三紀堆積岩	1	1	1	1	3	1	5	3
白亜紀堆積岩	1	1	1	5	5	3	7	9
先白亜系	1	2		1	1	8	2	11
先第三系火成岩*1			1	2	7	5	8	7
安山岩	1	3		2	2	4	3	9
熔結凝灰岩	2	2		1	7	1	9	4
第三紀火山岩*2	4	2		1	9	2	13	5
蛇紋岩				1	3		3	1

*1 主として輝緑岩・輝緑凝灰岩

*2 安山岩を除く変朽安山岩，凝灰角礫岩，集塊岩など

F=フィルダム，C=コンクリートダム

- の挙動などを評価する調査，試験，評価法の確立。
- (2) 切土斜面における応力解放，およびこれが逐次大規模地すべりに進行していくメカニズムの解明と設計，対策工への適用。
 - (3) 凍結融解，凍上，乾湿繰返し，スレーキングなど物性劣化の定量的調査，評価法の確立。

3.3 ダム

北海道において，既に竣工しているダムおよび計画中のダムで，地盤の地質が明らかなもの145例について，築造の時代とダムタイプを地質との関連でとらえ表-6¹²⁾に示す。

表で明らかなように，合計数でみると新第三紀堆積岩，熔結凝灰岩，安山岩を除く第三紀火山岩，蛇紋岩のいわゆる軟岩を含む範ちゅうの地質に築造されたダムが全体のほぼ半数に及んでいる。これらの中ではフィルダムの占める割合が圧倒的に多いが，この事からも分かるように，いわゆる軟岩と呼ばれている岩盤でも十分な調査を行い，適切なダムタイプの選定と設計があり，入念な基礎処理がなされていればダム基礎岩盤として十分に耐えうることを示している。

一般に軟岩は，固結度が低いためダム基礎としての支持力やせん断強度不足の問題，岩石自体が透水性を有することでの基礎処理方法の問題，掘削面の岩石が短時間で軟質化することによる施工方法の問題等が指摘される反面，堆積時代が新しいために地盤に割れ目が少なく，比較的一様に均質な岩盤をなす等の利点を有することもある。

今後，更にいわゆる軟岩の範ちゅうの岩盤でダム計画がなされるケースが多くなることと思われ，軟岩の特性も解明されて行くものと思われるが，我が国においては軟岩の主たる分布域である山地部と平野部の交會部は活構造を伴う新しい地質時代の変動域となっている例も多い（北海道では石狩平野と馬追丘陵の境界や十勝平野と豊頃丘陵の境界などがその例）。このような箇所では構造運動や応力の

解放による様々の影響が岩盤に及んでおり，これらにも配慮した取組みが望まれるものである。

4. あとがき

北海道における軟岩の概要を述べた。北海道ではいわゆるまさ状地盤は少ないものの，このほかの軟岩，すなわち堆積軟岩，火山性軟岩，蛇紋岩，また本文では割愛したプロピライトやグリーンタフ，温泉や熱水変質により軟質化した岩石など，軟岩問題として土木工事に影響を与えている岩石の分布は広い。

これらの岩石は，単に力学的な問題を有しているのみならず，凍結融解作用などにも弱く，強度劣化や凍上など積雪寒冷地特有の問題も多く有している。

これらの問題については，その解明がようやく緒についた段階であり，データの蓄積とともに現場に即応した解析手法の確立が望まれる。

参考文献

- 1) 土木学会：軟岩—調査・設計・施工の基本と事例一，pp.1～4，1984.
- 2), 5) 地質調査所：100万分の1，日本地質アトラス，1982.
- 3), 4) 野地正保・内山 進：北海道産堆積岩の物性，北海道開発局土木試験所月報，No.396，1986.
- 6) 吉川大三・前田憲一：青函トンネル海底中央部における固結度の低い砂質岩層の地質調査，土と基礎，Vol.36，No.7，pp.29～36，1988に一部加筆.
- 7) 根岸正充：凍結融解作用による微小亀裂を用いて岩盤のせん断強度を推定する試法，応用地質，Vol.21，No.4，1980.
- 8) 長縄 勉：道央自動車道嵐山トンネル工事の概要について，87”トンネル技術の特別講演と技術発表会，北海道土木技術会トンネル研究委員会，1987.
- 9) 野地正保：蛇紋岩の調査と評価，地質と調査，第2号，1988.
- 10) 北海道土木技術協会，道路トンネル研究委員会：北海道の道路トンネル，第1集，1988.
- 11) 吉田 保・小林雄一：地すべりの規模及び形態の統計的処理結果とその利用，土木試験所月報，No.329，1980.
- 12) 野地正保：北海道におけるダムの基礎地盤について，土木試験所月報，No.342，1976.