

橋梁基礎岩盤の地盤反力係数補正に関する研究

中央コンサルタンツ(株) 正員 下 川 俊 克
 中央コンサルタンツ(株) 正員 松 井 義 孝
 専修大学北海道短期大学 正員 金 子 孝 吉
 中央コンサルタンツ(株) 工博 小 椋 正

1、はじめに

近年、橋梁の基礎設計は電子計算機の普及とともに、地層構成、地盤の強度変化などが詳細に考慮できるなど、めざましい進歩を遂げてきた。したがって設計時には、これら地質条件に対する判断がより重要な要素となってきた。

筆者らは、氷河期における周氷河現象(以下、ソリフラクション(Solifluction))に着目し、基礎設計に反映すべく研究を行ってきた。4),5)

本研究では、このソリフラクションの影響を受けたと考えられる地層に対し、橋梁の基礎設計を行う際の地盤反力係数の設定について、測定N値を分解補正(N値分解法と称す。)する手法を検討するとともに、この適用性について述べるものである。

2、氷河時代とソリフラクション

2-1 氷河時代の発見

現在の洪積層(Diluvium)は、19世紀初頭にヨーロッパで発見された。発見の糸口は、その地方に縁(ゆかり)のない種類の山砂利や大きな岩塊が見つかり、これらは大洪水により運ばれたものとして、オックスフォード大学のW・バックランド教授が大洪水説を支持し名付けたとされている。

しかし18世紀末、既にスイス人などにより、洪水ではなく、北部ヨーロッパを覆うような大氷河時代があり、その氷河が運んできたものという説を唱えていた。この氷河説が実証的に認められるのに約40年の歳月を要したようであるが、ヨーロッパアルプスの氷河の源付近や、U字谷、又、北アメリカなどでも同説を裏付ける現象が見られる。

これらのことから、洪積層は氷河時代に置き換え得ることがわかる。

氷河期の生因説については、いろいろであ

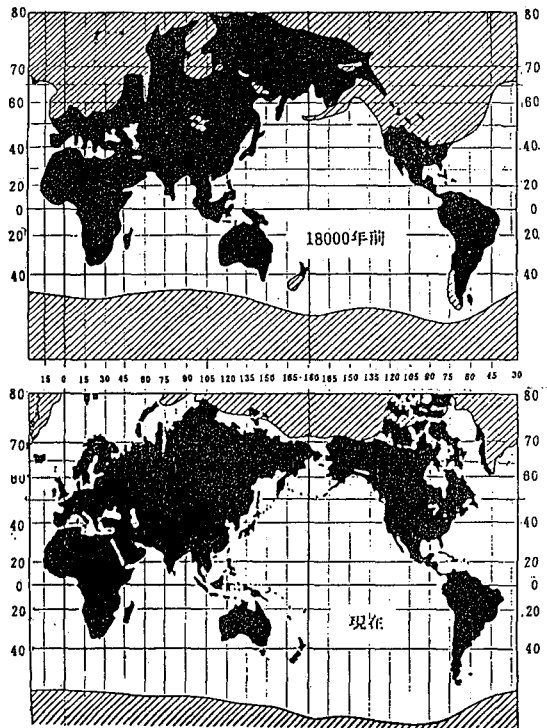


図-1 氷河期(18,000年前)の
最大氷河域と現在氷域

るが、現在一般に認められている説はM・ミランコビッチの仮説を更に進めたコロンビア大学のW・S・ブロッカー博士による「地球自転軸の首振り運動」によるものである。これによると、首振り現象周期(約2.4万年)や、軌道離心率(約10万年毎)、更に、氷河時代の海底堆積物の底生有孔虫の酸素量変化の調査などから考え合わせると、氷河期の周期は約10万年と云われ、現在は第4ウラム氷期後約1万年経過し、間氷期にあるとされている。

この幾万年にも亘る長期間、ヨーロッパ及び北アメリカなどの氷床に直接覆われた地域周辺でも、岩盤が寒冷のため破碎され細粒粘土化し、周氷河現象(Solifluction)の影響を受けたと云われる。

(図-1、ジョージ・クラ、ラモント・ド・ハティ 地質学研究所による、氷河の最盛期を氷稿粘土堆積物から推定したもの(18,000年前及び現在))

2-2 ソリフラクション

周氷河現象は「氷河周辺現象」ともいわれ、氷河地域周辺に起きる地表及び地表に近い地層中に生ずる現象を云い、氷期寒暖期の影響のため崩壊した土石が下方に葡行(むり)して、地表がなだらかな状態になることを意味する。

わが国の場合、氷河期に直接氷床に覆われることはなかったが、長期間にわたる激しい寒暖の繰り返しを受けた思われ、特に北海道はその影響が著しいと云われている。

3、わが国におけるソリフラクションとその深度

筆者らは、北海道、関東、九州の各地域の地質調査資料や事例、欧米調査などをもとに、ソリフラクションの影響とその深度について検討を試みたが、以下の通りである。(表-1参照。)

3-1 北海道地域

わが国では最も厳しい寒冷を受けたとされているが、その深さはボーリング資料では直接得られず、弾性波探査による資料によった。地山(未破碎層の弾性波速度4.5km/s)の上の破碎層厚により求めた。標高400~600m、岩質は新生代第三紀層の安山岩質、ソリフラクション約195m=200m。

3-2 関東地域

例1:富士山麓のボーリング資料により、新生代第四紀更新世、スコリア質(火山岩滓)礫岩が主体、ボーリング全長87m、底岩はスコリア質、礫岩亀裂多し暗褐色より推定。ソリフラクション約90m=100m。

例2:トンネル計画の弾性波探査資料2例より、ソリフラクション約85m~100m。

3-3 九州地域

九州中央部のボーリング資料(標高300m)により、岩質は中生代三畳~ジュラ紀とかなり古い層で、この砂岩中の頁岩のみが細粒化~粘土化が著しく、最も深い48.3mの最低部で剥離性のみが見られるため、限界を50mとした。

表-1 地域別 Solifluction 比較表

凡例 弾:弾性波探査資料
B:ボーリング資料
推定値

地 域	地質名	年 代	周 氷 河 現 象					影響深度 平地 山地
			標 高 表面状態	土砂化	細礫化	粘土化 空洞化	色 彩	
北海道 道 域	ラピト 岩質 或は粒 状安山 岩) 系 の凝灰 岩礫岩 及び凝 灰質安 山岩	新第三 紀~ 中新世 2800~ 1300万 年	例-2 弾 +550 著しく風 化、粘土 化	0.5km/s 地表より 25m位ま で	2.0km/s 170mの4- 5% 全長 に亘り	弾探の ため不 明	沖積世風 化強烈 上部: 暗赤褐 下部: 黄灰	200 ~ 300
			例-1 B +1100 著しく風 化、粘土 化	0.7km/s 地表より 30m位ま で	35m の4- 5% 全長 に、殆ど 柱状77-	0	沖積世風 化強烈 赤褐~ 褐色	0.7km/s 厚30m ~300
関 東 地 域	スーパ 火山岩 滓、安 山岩質 礫岩、 凝灰 岩質 (70% は砂 質、 礫は 安山 岩、 角閃 石、 石英 等) 砂岩 礫岩 安山岩	新第三 紀鮮新 世~ 西紀更 新世 1300~ 200万 年	例-2 弾 +250 細礫風じ り 粘土化	0.3km/s 地表より 4m位ま で	0.6 ~ 0.7km/s 地表より 18m位ま で	弾探の ため不 明	沖積世の 風化可 なり強 い暗赤 褐~ 暗褐灰	50 ~ 100 低湿帯 100 ~ 150
			例-1 B +240 砂礫風じ り 粘土化	地表より 6m位ま で	地表より 30m位ま で	空洞化 10cm (-76m)	沖積世の 風化可 なり強 い暗赤 褐~ 暗褐灰	100~ 150
九州 地 域	水成堆 積岩及 び粘板 岩の互 層(何れ も武蔵 野系層)	中世代 白堊紀 18000 ~ 6500万 年	例A~H B +230 粘土風じ り 砂礫化	地表より ~8.5 9.5 ~10 32.2~33 37.8~38	地表より 9m位ま で 48.1~ 47.8	粘土化 210cm (-12.7) 75cm (-18.0) 55cm (-21.4) 80cm (-22.6)	沖積世の 風化強い 黒灰 ~ 暗赤灰	50 ~ 100

3-4 ソリフラクションと緯度、標高、岩質との関係

これら三地域の結果を、その位置、及び緯度と風化層厚について図-2、3に示したが、図-4のように、氷河期に谷氷河が存在したと言われる日高山系、日本アルプスなどの谷氷河線と推定雪線の位置及び傾きが、直線的に変化していることから、大局的にこの三地域の風化層厚を直線変化と仮定し、ソリフラクションを推定した。

これらを見ると推定雪線、谷氷河線及び気温線に一連の関係が感じられる。

岩質では、年代的に最も古い中生層が水成岩のためか、他の火成岩類に比して深く粘土化が進んでおり、又、標高に関しては、北海道、関東ともに高い地区が深い粘土化を示している。

以上、ソリフラクションに対する緯度、標高、及び岩質による影響の内、緯度の影響が大きいに思われる。

図-2 緯度と風化層厚

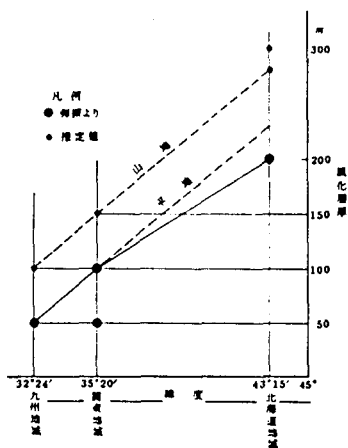


図-3 三地域の位置図

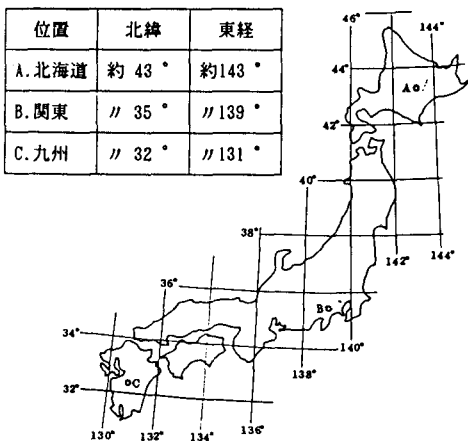
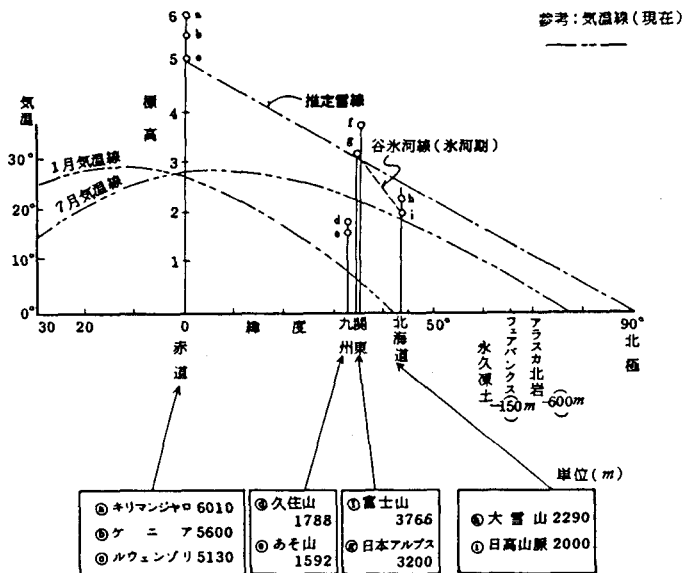


図-4 推定雪線と三地域の関係



4、ソリフラクションと永久凍土及び鍾乳洞との関係

ソリフラクションの生成を確認する方法として、現在の永久凍土と鍾乳洞の資料との比較を行うこととした。

図-5によれば、ソリフラクションの曲線とアラスカの永久凍土曲線が同形の曲線であること、又、世界各地域の最長鍾乳洞の水平長とそれぞれの緯度（表-2より）の曲線の始点、終点は、ソリフラクションのそれらとほぼ同一であることなど、三者とも何れも氷河期の生成に深い関係があるものと考えて差し支えないようである。

図-5 緯度とソリフラクション、鍾乳洞及び永久凍土との関係

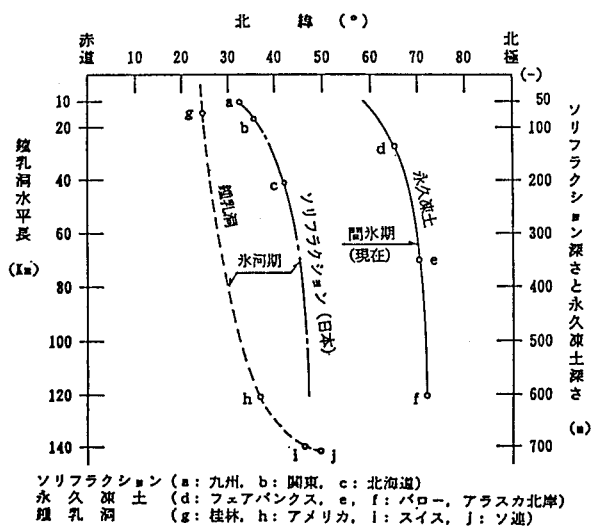


表-2 主な鍾乳洞の規模、緯度と氷床端の関係

主な鍾乳洞の規模緯度と氷床端の関係表							緯度差		備考
NO	国名	地名	延長 (km)		氷床端の緯度 (A°)	鍾乳洞の緯度 (B°)	緯度差 (A°)-(B°)	Selfluction 影響の程度	
			水平	垂直					
1	ソ連	オブテミステイチエスカ	142.2		55°	50°	5°	①非常に有り	位置ウクライナのテルノポリ N.49°33' E25°38' # シュエーツ南西10km N.47°0' E8°30' 標高2,210mより 氷床端が加わる。略 N48° E8°
2	スイス	ヘルロツホ	139.4		55°	47°	8°	① #	
3	フランス	アルプス山脈ジャンベルナル		1.46	55°	48°	9°	① #	略 N43°, 0°
4	フランス	ビレー山脈	1.33		55°	43°	12°	②可なり有り	
5	スペイン	ビレー山脈	1.34		55°	43°	12°	②可なり有り	バンプローナ N42°49' VI°39'
6	アメリカ	ジュエルケー	104.7		44°	40°	4°	①非常に有り	
7	アメリカ	マンモスケー	計 361.2 平均 120.4		41°	37°	4°	① #	N37°20' E68°0'
8	日本	新潟白根洞		0.40	70°	37°	33°	③有り	
9	日本	# 青森千鳥洞		0.45	70°	38°	34°	③有り	N32°~38° E130°~140°
		東京日原三文洞							
		長野七ツ釜洞	0.5			33°	37°		* N25° E110°
		熊本球磨洞	4.5			32°	38°		
10	中国	桂林	15		70°	25°	45°	③有り	

5、ソリフラクションを考慮した地盤反力係数の補正

ここでは、橋梁基礎設計に関する、関東地方と北海道の2例をあげ、地盤反力係数補正の検討を行うが、地盤反力係数 K_H を求めるための、これと密接な関係にある、測定された変形係数 E_0 (

$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-3/4}$ $k_{H0} = \frac{1}{30} \alpha E_0$) をN値分解法(仮称)により、ソリフラクションを考慮し補正する方法を述べる。

5-1 N値分解法による傾向線(仮称)

筆者らの研究によれば、N値を分解して求めた傾向線 ($n1', n2', n3'$) は、①土質の詳細、②地質の破碎傾向、③ E_0 値と土性の対比、④地層の区分、⑤圧密時の荷重状態などを明確にすることができるものと思われる。4)

5-2 資料による具体例

図-6 はN値分解法(仮称)について検討したものである。N値を分解して最初の10cmの打撃回数 $n1$ 、次の10cm分を $n2$ 、3回目を $n3$ としてプロットし、 $n1$ 折線、 $n2$ 折線、 $n3$ 折線を作る。次に $n1$ 折線の最小値を結ぶ直線 $n1'$ 線を引く、同様に $n2'$ 線、 $n3'$ 線を定め、これらを便宜上傾向線と呼ぶ。

図-6 分解N値(傾向線)と E_0

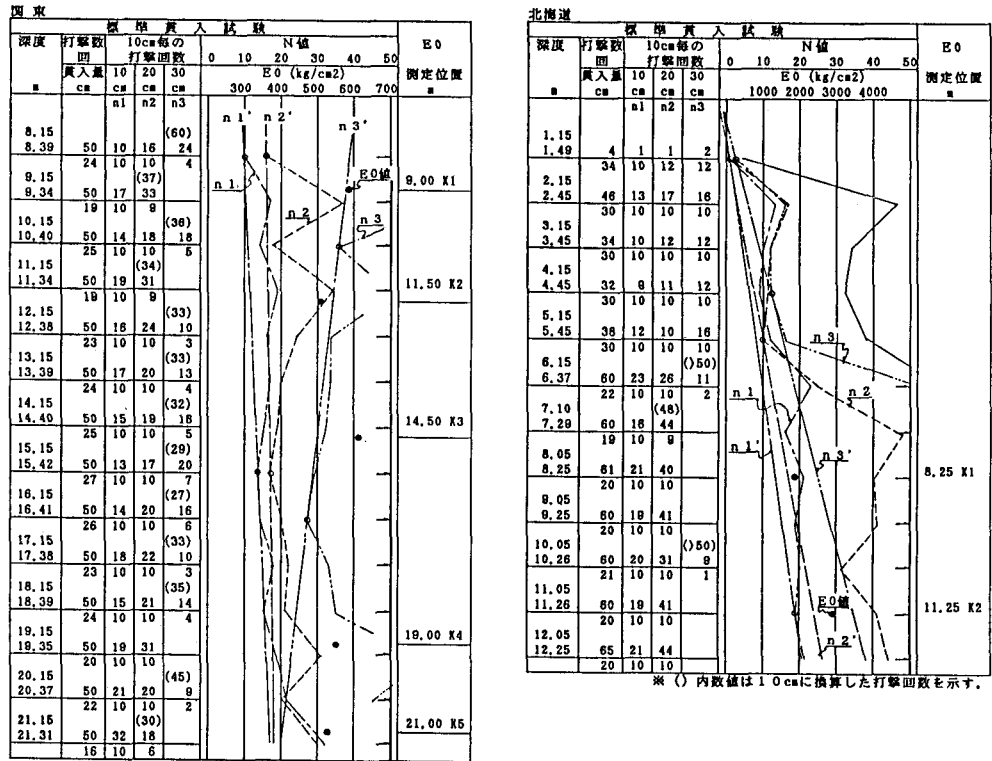


表-3 E_0 値の補正

Case	深度 G L (m)	測定 E 0 値 (kg/cm2)	測定 N 値	分 解 N 値								補正係数	第一次 補正值	第二次 補正值	設 計 採用値		
				分解値			傾向線		N		N'						
				n1	n2	n3	n1'	n2'	n3'	n1+n2+n3	n1'+n2'+n3'	N'/N				C	
関 東	9.00	K1	585.8	>50	17	37		10.5	16.2	37.5	54.0	64.2	1.19	1.07	593	522	500
	11.50	K2	506.9	>50	19	34		11.9	16.5	33.9	53.0	62.3	1.18	1.04	576	507	500
	14.50	K3	608.6	>50	15	19	32	13.0	17.0	30.0	66.0	60.0	0.91	1.00	554	488	450
	19.00	K4	550.9	>50	19	31		15.9	17.7	23.0	50.0	56.6	1.13	0.94	521	458	450
	21.00	K5	522.3	>50	32	30		17.0	18.0	20.0	62.0	55.0	0.89	0.92	510	449	450
北 海 道	8.25	K1	1,887.0	>50	21	40		13.7	16.6	24.8	61.0	55.1	0.90	1.00	1,698	----	1,650
	11.40	K2	2,978.0	>50	19	41		19.2	23.3	35.0	60.0	77.5	1.29	1.41	2,394	----	2,350

5-3 E0の補正 (図-5、表-6 参照)

Case-1 (関東)

この例は関東地方多摩川流域のものであるが、氷河期の影響を長期間受け、特に多摩川低地では不均等質で変化の多い被破砕層厚が220mと推定されている。(氷河期海面底下 120m + 川底のソリフラクション 100 mと考えられる。)

この例では、E0の測定位置で n1, n2, n3全てが測定されているのは、K3のみであるので、これを基準値として補正を行う。

$$K3 \text{ の測定深さにおける } N = 15 + 19 + 32 = 66$$

$$\text{前述の傾向線の同深さの } N' = 13 + 17 + 30 = 60$$

$$\text{傾向線以上の突出部を補正するための係数 } N' / N = 60 / 66 = 0.91$$

$$K3 \text{ の基準値としての変形係数を } C = N' / N \text{ として求めると } C \cdot E0 = 0.91 \cdot 608.6 = 554 \text{ kg/cm}^2$$

(第一次補正基準値)

K3の深さの $N' = 60$ を基準値として、他の K1, K2, K4, K5 の N' の比を C の補正係数(1.07~0.92)として示す。

これを用いてそれぞれの $C \cdot E0$ ($E0$ は補正基準値 554 kg/cm²を使用)を求める。(第一次補正值)
次に、これら算出値と測定値を各深さについて比較すると、K1とK2が、まだかなり大きいことがわかる。

この原因は、K3の測定箇所と N 値を測定した箇所とのズレによるものと考えられる。このことは、測定 N 値が最小であるのに対し $E0$ は最大値を示していることでもわかる。ここで、第二次の補正を行うため、 $E0$ の最小値 506.9kg/cm²(K2)を基準値とし、第一次補正の K2 との比 $a = 507/576 = 0.88$ を求め、 $a \cdot C \cdot E0$ として第二次補正值を求め、設計採用値とする。

Case-2 (北海道)

この例は北海道滝川市周辺のものであるが、調査深度が浅く、又、弾性波探査も行っていないことから、このボーリング資料のみでは、ソリフラクションの影響を確認するに至っていない。しかし、先述の道内事例から見ても、かなりの影響があったことは否定出来ない。(ソリフラクション 100m)

この例も同様の手順で補正することとなるが、 $E0$ の測定位置では K1, K2 共に n3 が求められていない。しかし、K1 は N 値の測定位置と同位置であることから、これを基準値として求めている。

6、まとめ

これまでの資料によれば、北海道は氷河現象によるソリフラクションの影響を最も大きく受けたと思われ、地表は重度の凍傷を受けた如く粘土化し、地層内もそれに相応して亀裂化、砂礫化、粘土化が深く浸透しているようである。これらの仮定に基づき、橋梁基礎に対する地盤反力係数補正の検討を、 N 値分解法(仮称)にて試みたが、変化の多い被破砕層において、 N 値の局部的突出を削除した合理的な手法と云える。したがって、ソリフラクションを受けた被破砕層に対する評価手法として提案したい。

以上、今後も、これらのデータを積み重ね、橋梁などの基礎設計に反映されるべく研究を重ねて行きたい。

参考文献

- 1) Frank H.T. RHODES : FOSSILS
- 2) W.S. Broecker : How to Build a Habitable Planet
- 3) 井尻正二 : 大氷河時代
- 4) 小椋 正 : 中央技報 NO.5,8
- 5) 小椋、松井 他 : 周氷河現象およびこれを考慮した地盤反力係数補正に関する研究。第27回土質工学研究発表会講演集 1992.6