

ジオグリッドによる不等凍上防止に関する実験的研究

青山 清道* ・ 福田 誠**

Experimental study on prevention of differential frost heave by using Geogrid

by

Kiyomichi AOYAMA and Makoto FUKUDA

(Abstract)

In cold regions, road pavement is greatly affected by frost heave in the ground. The use of Geogrid for earth works, such as reinforcements of embankments, has recently increased.

The authors tried to use Geogrid for the improvement works of prevention method of differential frost heave. From the experimental study, it was observed that Geogrids are useful in preventing differential frost heave and cracks in pavement.

い ま え が き

寒冷地や高所山岳地帯においては、道路、マンホール及び側溝などの凍上による被害が毎年のように発生し、この路面災害の復旧に要する費用は甚大なものとなっている。積雪地帯でも冬期間の完全除雪区間が飛躍的に増加したことにより、凍上による路面災害を受ける範囲が全国的に拡大している。

道路舗装における凍害には、凍結—融解の繰返しによる土の支持力の低下（青山ほか, 1977, 1982）と不等凍上による被害（久保, 1979, 1981）があり、前者は主として舗装面に亀甲状のクラックが生じ、後者では縦断方向の線状クラック及び埋設物周辺にクラックが生じる。

道路の凍上対策として、これまでは凍上性の土を掘削して、砂利等の難凍上性の骨材を置く、置換工法が採用されてきたが、近年の自然保護や天然骨材の枯渇化から場所によっては骨材が非常に高価なものとなり、有効で経済的な新しい技術開発が望まれている。

地形が平坦な場所での道路の横断方向における凍結深と凍上量の関係について、長野県蓼科高原で測定した結果を示すと図-1のようになる。舗装中央部は端部より凍上量が約40mm大きい。このような状態では舗装体に曲げ、特に上層部では大きな引張り力が働く。

不等凍上を防止する一つの方法として、路盤材である切込み砕石部分をジオグリッドで覆う方法が考えられる。砕石とジオグリッドが一体となって凍上力に抵抗することにより、凍上は均一的になる。かくして、凍上は生じても舗装面にとって有害な亀裂は生じないものと期待できる。

ジオグリッドは石油工業製品などでつくられた格子状のネットである。最近、本材料の建設工事への

* 新潟大学積雪地域災害研究センター

** 三井建設技術研究所

適用は、軟弱地盤の表面処理から護岸マットレスに至るまで広範囲にわたっているが、寒冷地での凍上対策へ適用した例をほとんどみない。

著者らは、1 m²あたりの工事単価を従来の工法と同じくして、不等凍上による舗装面の引張りクラックを防止するため、引張り強さの高いジオテキスタイルの一種であるジオグリッド (Geogrid) を埋設した試験舗装 (青山ほか, 1985) を行った。その結果、従来の工法と凍上量や舗装面のクラックの程度を比較、検討することが出来たので、その概要を報告する。

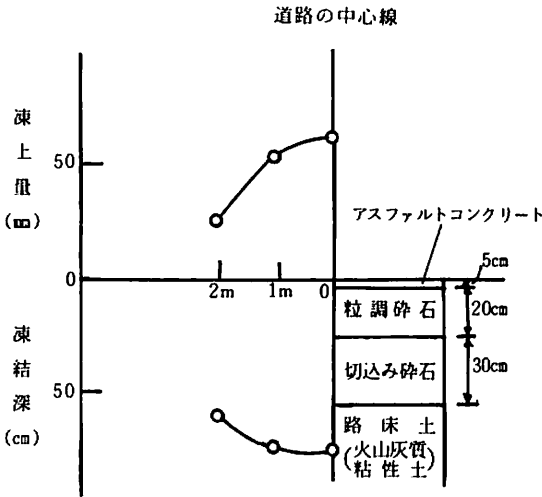


図-1 横断方向の凍結深と凍上量の分布
Fig. 1 Distribution of frost depth and amount of frost heave at lateral cross section.

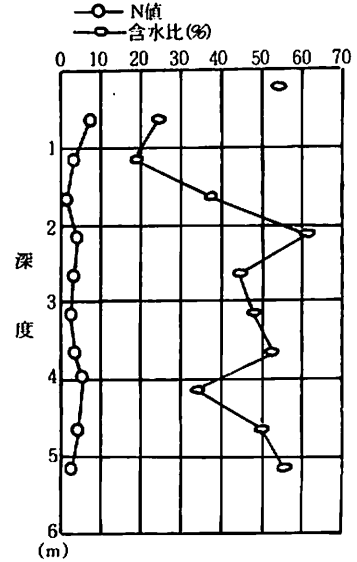


図-2 実験地のN値と自然含水比
Fig. 2 N value and natural water content at experimental site.

II 実験地の土質特性

実験地は長野県軽井沢町の標高約1,000 mの位置にある。この付近の土質構成は、地表面から40cm程は黒ぼくで覆われており、その下に不均質な火山灰質砂質土が深さ5 m前後まで続いている。

標準貫入試験によりN値を調べた結果と含水比の鉛直分布を示すと図-2のようになる。火山堆積物である地盤は、1 m以深のN値が5以下であることから軟弱であることが分かる。含水比は、表土の黒ぼくで約55%、深さ1 m付近で約20%と低下し、それで深は50%前後と再び増加している。

深さ方向の土質の性質を示すと表-1の通りである。これより、凍上に最も影響すると考えられるシルト分の重量比率は表層ほど高く、0~0.65 mの地層で34%、0.65~1.15 mで20%以下と次第に低下している。また、3.65 m以深では再びシルト分の割合が増加しているが、この付近の自然地盤の平均的な凍結深度が約60 cmであることから考えて、凍上にはほとんど影響しないものと思われる。

III 実験方法

本実験での舗装構造を示すと図-3のようになる。X工区、Y工区とも1 m²あたりの工事単価が等しくなるようにしているため、断面構成は異なっている。各々の断面構成は以下のものである。なお、試験工区は各々幅5 m、長さ50 mである。

表-1 土 性 値
Table 1 Geotechnical properties.

深度 (m)	0	0.65	1.15	1.65	2.15	2.65	3.15	3.65	4.15	4.65	5.15
測定値	0.65	1.15	1.65	2.15	2.65	3.15	3.65	4.15	4.65	5.15	5.65
含水比 w_n %	54.6	24.1	18.4	37.4	61.6	44.3	47.8	52.4	33.5	49.5	55.1
比重 G_s	2.68	2.71	2.67	2.72	2.62	2.70	2.60	2.56	2.64	2.61	2.61
液性限界 w_L %	58.4	—	—	—	—	—	—	47.9	—	—	40.7
塑性限界 w_p %	37.3	—	—	—	—	—	—	36.3	—	—	30.5
塑性指数 I_p	21.1	—	—	—	—	—	—	11.6	—	—	10.2
レキ分 %	1	3	4	20	30	26	36	14	22	35	17
砂分 %	31	64	75	52	51	48	42	44	46	46	50
シルト分 %	34	20	11	13	9	14	12	26	21	11	20
粘土分 %	34	13	10	15	10	12	10	16	11	8	13
最大粒径 mm	4.76	9.52	4.76	19.1	19.1	19.1	25.4	19.1	9.52	19.1	19.1

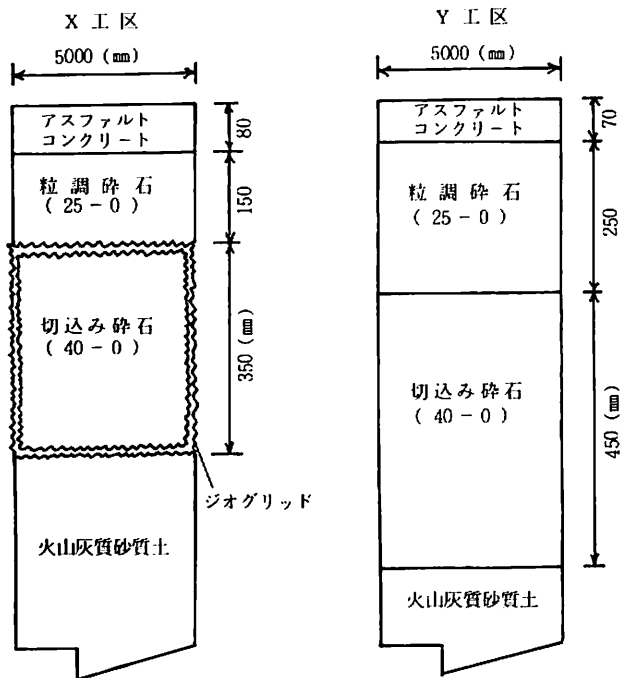


図-3 舗装構成
Fig. 3 Cross section of pavement.

(1) X工区 (ジオグリッド補強工区)

粒調碎石層下部に位置する35cm厚の切込み碎石 (粒径40mm—0 mm) をジオグリッドで包み, 碎石マット構造とした。ジオグリッドと碎石の一体化により, 凍上力に対するせん断抵抗力増強効果を狙ったものである。なお, 切込み碎石と火山灰質砂の間には路床の凍上時にジオグリッドがずれないようにピンを火山灰質砂質土に打込んである。

ジオグリッドの施工状況を写真-1に示す。

本試験施工に使用したジオグリッドの物性は, 重量200gf/m², グリッドピッチ30×37mm, 引張り強さ250kgf/10cm (縦), 260kgf/10cm (横) で二軸延伸のポリプロピレン製である。

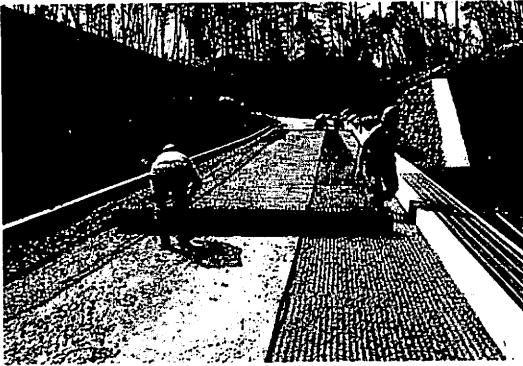


写真-1 ジョグリッドの敷設

Photo. 1 Construction of pavement using Geogrid.

(2) Y工区 (在来工区)

Y工区は, 上層よりアスファルトコンクリートの厚さは70mm, 粒調碎石 (25mm—0 mm) 250mm, 切込み碎石 (40mm—0 mm) 450mmである。この工区は実験地付近の道路の舗装構造と同一にしてある。

実験地で測定した項目を表-2に示した。凍上量は水準測量で, 凍結深はメチレンブルー凍結深度計で1週間間隔で測定した。気温は自動計測とし, 舗装面の状況を写真撮影した。測定期間は昭和59年 (1984年) 11月から昭和60年 (1985年) 4月までの6ヶ月間である。舗装面は常に除雪し, 一冬を通じて無雪状態を維持した。

IV 気 象 状 況

1984年11月から1985年4月までの軽井沢測候所の気温ならびに降雪深の経時変化を図-4に示した。測候所は当該実験地の近くにあり, 北緯36°20', 東経138°33'に位置し, その標高は999mであるため, 実験場所の気象条件と類似と考えて解析に使用した。

最低気温は12月下旬より-10℃を下回る日が多くなり, 1月31日に試験期間の最低-18.5℃を記録した。それ以降気温は次第に上昇し, 最低気温が-10℃を下回ったのは3日間だけだった。また, 1月の最高気温の平均は3.6℃であり, 2月前半は暖かい日が続いた。2月10日の最高気温は10℃と厳冬期1, 2月の最高を記録した。

降積雪深の変化を見ると, 11月19日に4cmの初降雪を記録し, 12月の最大降雪深は19cmであったが, 1月はあまり降雪が認められなかった。2月下旬から3月中旬にかけて集中的な降雪があり, 2月19日

表-2 測定項目
Table 2 Articles of measurement.

	測定期間	測定間隔	測定方法
凍上量	59.11—60.4	一週間	水準測量
凍結深	59.11—60.4	一週間	凍結深度計
気温	59.11—60.4	連続	温度記録計
舗装面の状況	59.11—60.4	随時	写真撮影

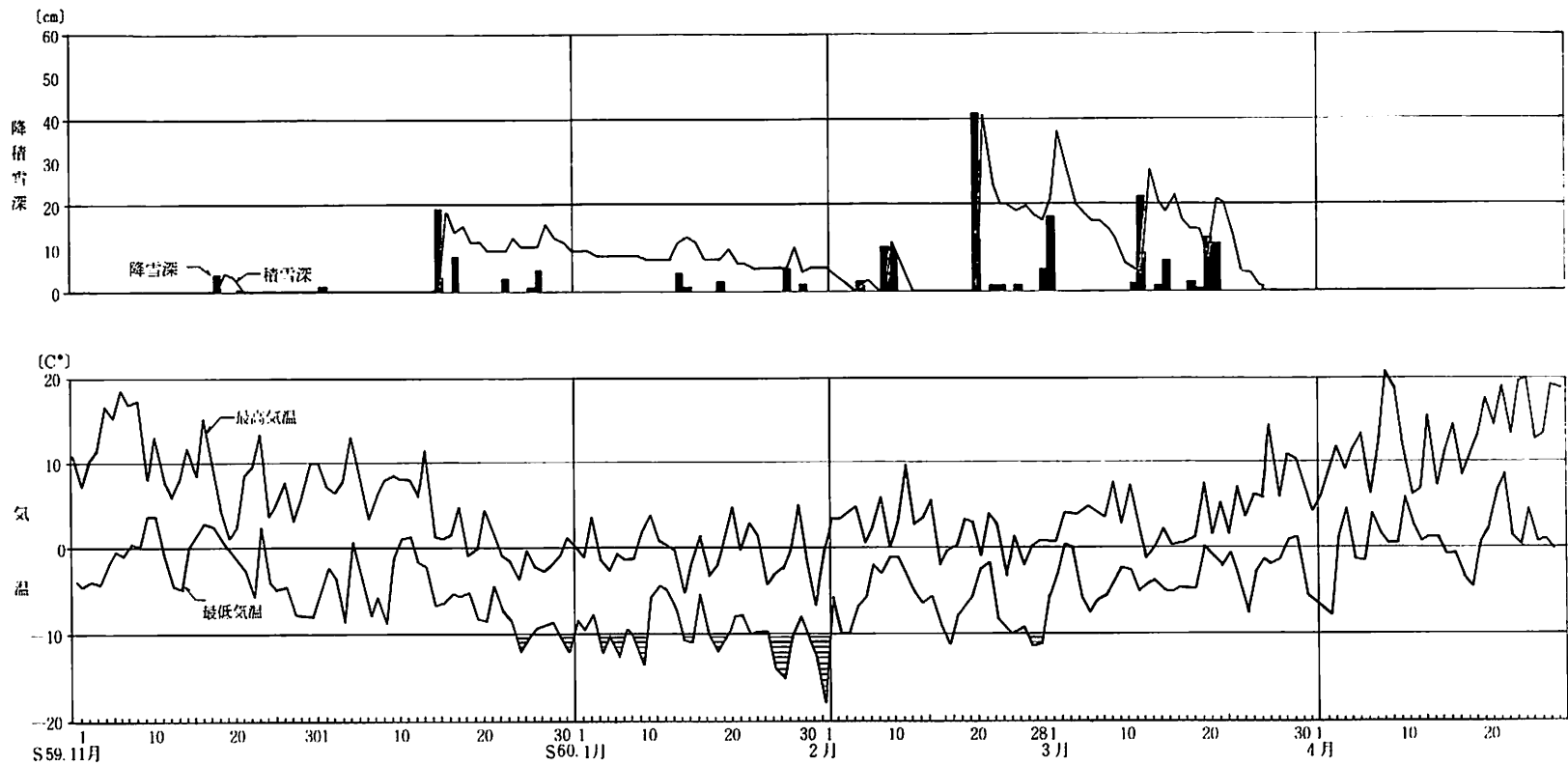


図-4 実験期間の気象(軽井沢測候所)

Fig. 4 Meteorological elements observed at Karuizawa Meteorological Station.(1984-1985)

に試験期間の最大降雪深41cmを記録した。また、積雪の変化は、12月中旬から2月にかけて平均10cm前後の積雪があり、その後2月下旬から3月下旬にかけて第2の積雪期が認められた。軽井沢の1985年1月は平年より寒さが厳しかったが、2月以降は平年より暖かい日が多かった。

V 実験結果および考察

X工区、Y工区の凍上量及び凍結深の経時変化を示すと図-5のようになる。X工区は1月中旬で、凍上量が最大48mmを示した。Y工区の凍上速度はX工区より遅いため、2月下旬で30mmの最大凍上量を記録した後、次第に凍上量は減少した。X、Y工区とも4月上旬で凍上量が0になり、凍結前の路面に回復した。

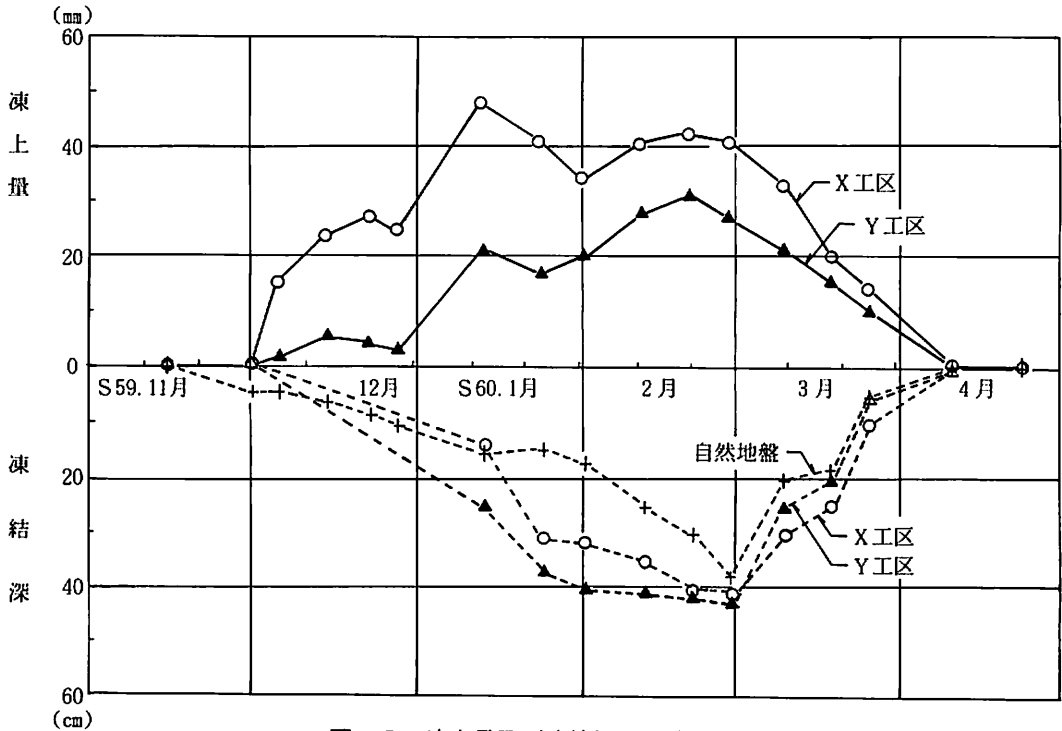


図-5 凍上量及び凍結深の経時変化

Fig. 5 Fluctuations of amount of frost heave and frost depth with time.

X工区はY工区よりも一冬を通じて約1~2cm凍上量が大きい。特に、12月上旬の凍上量の変化を比較した場合、X工区の平均凍上速度は3mm/dayに対し、Y工区はその $\frac{1}{10}$ の0.3mm/dayであった。これは、路盤構成の相違に大きく起因している。

また、凍結深の経時変化はX、Y工区の間有意の差はみられず、実験期間の最大凍結深は約40cmであった。凍結深度は、砕石路盤の方が自然地盤である火山灰質砂質土よりも深い。これは砕石の熱伝導率が土よりも大きいことによるものである。

凍結深はX、Y工区とも砕石路盤内にあり、路床土である火山灰質砂質土には達していなかった。粒調砕石(25mm-0mm)と切込み砕石(40mm-0mm)の路盤材料はともに規格試験を通過しているものの凍上を生じている。

当該実験地の舗装面で、道路の横断方向の不等凍上量の月変化を測定した。実験期間中、ジオグリッドを使用したX工区の凍上量が最大になった時の凍上量の分布を示したのが図-6である。X工区はY工区に比較して、凍上量が大きいにもかかわらず、路面内で不等凍上が軽減されたことが分かる。これは、ジオグリッドで碎石を包んだ場合、格子の中に碎石が入りこみ、碎石とジオグリッドが結合することにより碎石マット構造となり、一体化による効果として比較的均等に路盤が隆起したためである。この詳しい解析結果については別の機会に紹介したい。

路面の写真撮影や目視観察によっても、X工区の舗装面には凍上によるクラックが発生しなかった(写真-2)が、Y工区では路面の中心線付近でわずかなき裂を生じた(写真-3)。

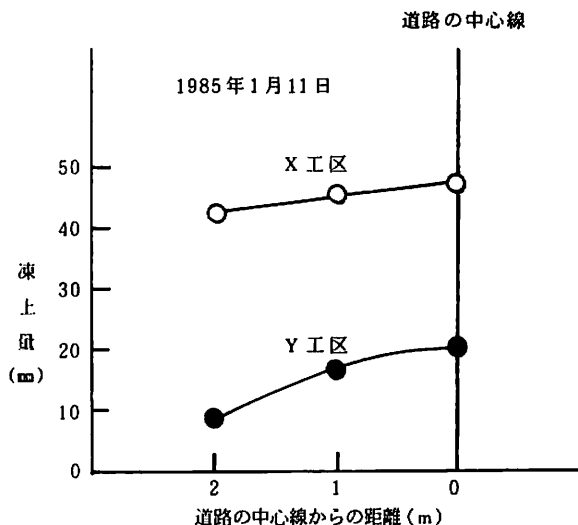


図-6 横断方向の凍上量の分布
Fig. 6 Distribution of frost heave amount at lateral cross section.

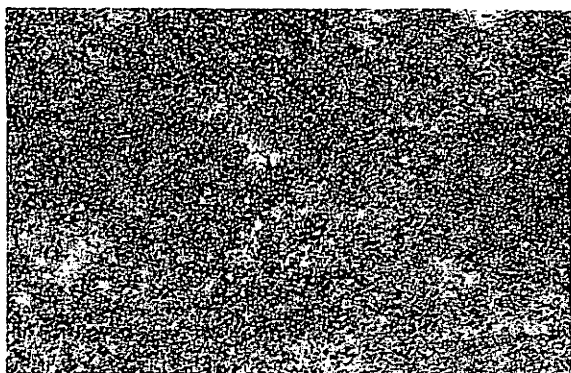


写真-2 き裂が生じてない舗装 (X工区)
Photo.2 No cracks in pavement
(X experimental site)



写真-3 き裂が生じた舗装 (Y工区)
Photo.3 Cracks in pavement
(Y experimental site)

したがって、ジオグリッドによる補強工法は不等凍上抑制、路面クラック発生防止に充分寄与する。ただし、経年変化に伴うジオグリッドの耐久性については現段階では不明である。

今後はさらに、ジオグリッドの変形及び抵抗の発現過程を考慮した設計手法を確立するために、現場実験のデータを集積したいと考えている。

謝 辞

本研究をするにあたり、御指導、御協力をいただいている新潟大学災害研中俣三郎前教授、長岡技術科学大学小川正二教授、三井建設技術研究所・川澄 脩副所長、桜田良治研究員、三井建設軽井沢作業所・青木 茂所長、三井道路技術研究所・山本正夫主任研究員、実験のために現場を提供していただ

た三井不動産の関係各位に深甚なる感謝の意を表わします。

最後に、この論文を昭和60年3月31日新潟大学を停年退官された中俣三郎教授に捧げます。

参 考 文 献

青山清道・小川正二・川澄 脩・田村富雄・福田 誠（1977）：凍結—融解を受けた土の力学的性質．土質工学会誌，土と基礎，25(7)，41—46．

———（1982）：土の凍結—その制御と応用—．土質工学ライブラリー，23，土質工学会，70—90．

———・小川正二・福田 誠・桜田良治（1985）：ジオテキスタイルによる凍害防止効果について．昭和60年度日本雪氷学会講演予稿集，165．

久保 宏（1979）：積雪寒冷地舗装の凍上対策．土木学会誌，64(2)，10—16．

———（1981）：道路舗装の凍上とその対策．土質工学会誌，土と基礎，29(2)，9—14．