

浅層区間における通信ケーブル直接埋設時の クリーピング現象に関する検討

STUDY OF CABLE CREEPAGE PHENOMENON ABOUT DIRECT BURY OF COMMUNICATION CABLE IN SHALLOW SECTION OF ROAD

小林 大樹^{1*}・田邊 克洋²・柿元 啓祐³・杵山 義弘³

Daiki KOBAYASHI^{1*},
Katsuhiro TANABE², Keisuke KAKIMOTO³, Yoshihiro IRIYAMA³

NTT developed a new cable which is integrally molded with the protection tube. In order to realize a safe and inexpensive underground construction, we studied countermeasure of cable creepage. Vehicle run repeatedly on road installed the cable, aiming of predicting occurrence of cable creepage. As a result, there was a clear correlation to soil subsidence and cable movement. Besides, the separation distance from wheel to cable and cable movement had a negative proportional. In order to make an inexpensive measure, cyclic loading test to the cable was carried out. By the test, it was showed that pull force of the cable is weak enough to use current cable movement preventing jig.

Key Words : Eliminating utility poles, Cable creepage, Telecommunication cable, Soil subsidence, cyclic loading test

1. はじめに

安全な通行空間の確保, 都市景観の向上, 震災時における通信ネットワークの信頼性向上等を目的にケーブルを道路下の空間に埋設して地上空間から電柱とケーブルを無くす無電柱化の実現が望まれている。これまで, 道路幅員が広い商業系地域ではキャブシステムや電線共同溝等にて低コストな無電柱化手法が適用されてきたが, 道路幅員が2.5m以下の住居系地域では有効な手法が確立されていなかった¹⁾。そこで, このエリアに有効な手法として図-1に示すような防護管付の通信ケーブルをNTTにて開発した。本ケーブルは外径40mm程度の防護管を地中に直接埋設するため道路幅員の狭い道路でも施工することが可能である。さらに, 防護管とケーブルが一体成型のため, 従来の管路のように管路敷設後のケーブルの引込工程が不要のため低コストな施工が可能となっている。無電柱化の推進に向けて本ケーブルは有効な手法であるが実環境に適用した際に長期的な信頼性が担保されるかは未だ検討の余地が残されている。

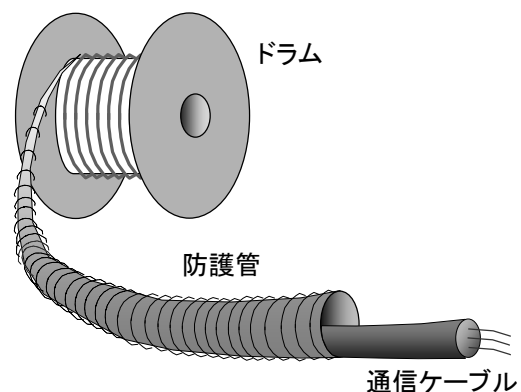


図-1 防護管付ケーブル

(1) クリーピング現象と現行の対策

検討を要する項目のひとつに車両走行に伴うクリーピング現象への対策が挙げられる。クリーピング現象とは車両走行に伴って, 管路内のケーブルが車両進行方向に徐々に動いていく現象である。クリーピング現象が発生すると, ケーブルに過大な引張力が発生することやマンホール内で基準値以上にケーブルが屈曲することで

キーワード：無電柱化, クリーピング現象, 通信ケーブル, 沈下, 繰り返し载荷試験

¹ 正会員 NTTアクセスサービスシステム研究所 Access Network Service Systems Laboratories, NTT (E-mail:kobayashi.daiki@lab.ntt.co.jp)

² 非会員 NTT 西日本 ネットワーク部 Network Division, NTT WEST

³ 非会員 NTTアクセスサービスシステム研究所 Access Network Service Systems Laboratories, NTT

通信に悪影響が起こる。既往の知見²⁾によると管路内のケーブルにおけるクリーピング現象は管路に輪荷重が作用し、管路にたわみ部が生じるとたわみ部両端において管路とケーブルの接地圧が他の部位より大きくなる。たわみ部は車両進行方向に動いていくため、接地圧の高い部分も車両進行方向に移動し、その際に発生する摩擦力でケーブルが前進すると考えられている。

NTTにおける現行のクリーピング対策はケーブルのマーキングからケーブルが移動したことを事後確認し、ケーブル移動が発生した場合には、ケーブル移動防止金物を装着することになっている。従来の管路は剛性が高く、埋設位置も深いため、管路がたわみ難くクリーピングが発生する環境は一部に限られていた。一方で、新たな防護管付ケーブルによる方式は防護管の剛性が低く、埋設位置も浅くなることが想定される(http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000627.html(2016/09/26 参照))ため防護管がたわみ易くクリーピングが発生しやすいことが考えられる。そこで、ケーブル損傷リスクの高い事後確認とせずに、事前にクリーピングが発生する環境を予測して必要な箇所のみにクリーピング対策を施すことが期待されている。

クリーピング現象発生時に取り付けるケーブル移動防止金物は管路軸方向にケーブルが移動する際の引張力 F (式(1))から設計されている³⁾。

$$F = \mu w g l \quad (1)$$

ここで、 μ は管路とケーブル間の静止摩擦係数、 w はケーブル単位長重量、 g は重力加速度、 l はケーブル長である。式(1)に摩擦力和単位重量が最大となるケーブルの値および設計上最長のケーブル長を代入して移動防止金物の最大把持力としている。従来の管路形態であれば式(1)のように摩擦に対する引張力のみを考慮すれば良いが、防護管付ケーブルは可とう性を有するために防護管が大きいたわんだ際に防護管上部片がケーブルを押すことでケーブルに過大な張力が発生するような事象が想定される。そこで、式(1)の考え方による現行のケーブル移動防止金物が防護管付ケーブルにおいても適用可能かを判断する必要がある。

(2) 検証の目的

新たに開発した防護管付ケーブルにおけるクリーピング現象の発生有無の確認とその事前予測方法を策定することを目的に車両走行時のケーブル移動に関する検証を行った。さらに、クリーピング発生時に使用している現行のケーブル移動防止金物が防護管付ケーブルにおいても使用可能を確認するために鉛直方向の荷重に対するケーブル引張力に関して検証を行った。



図-2 検証の様子

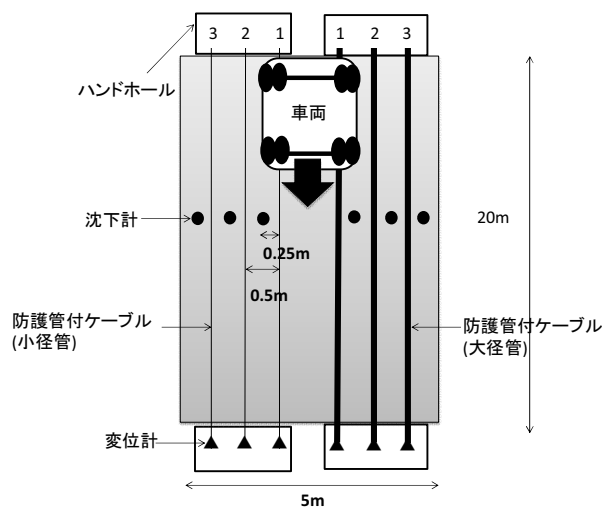


図-3 検証用道路の平面図

2. ケーブル移動に関する検証

クリーピング現象は車両载荷によって生じた管路のたわみ部が車両走行に伴って移動していくことで、管路に收容されるケーブルも移動する。したがって、防護管と同じ深さの土の沈下量とケーブルの移動量に相関があると想定される。そこで、防護管付ケーブルを埋設した道路を構築してその上を繰り返し車両を通行させた。そして、その時の土の沈下量とケーブルの移動量を測定した。

(1) 検証方法

図-2に示すように防護管付ケーブルを埋設した道路を構築し、そこに車両を繰り返し走行させた際のケーブルの移動量と防護管と同深度の土の沈下量を計測した。防護管付ケーブルや各計測器等の配置を図-3に示す。5×20mの道路に大径、小径の防護管付ケーブルをそれぞれ3本設置した。以下、車両の走行線に近い管から大径管1～3、小径管1～3とした。

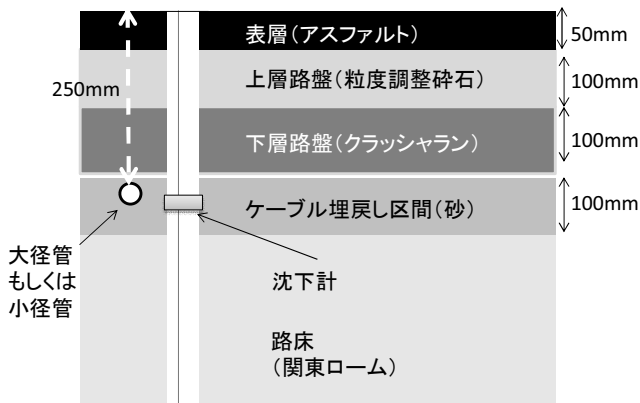


図-4 検証用道路の断面図

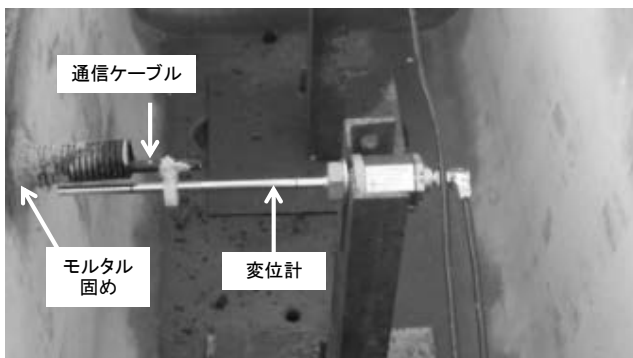


図-5 ハンドホール内の環境

5×20mの道路に大径、小径の防護管付ケーブルをそれぞれ3本設置した。以下、車両の走行線に近い管から大径管 1～3、小径管 1～3 とした。同じ径の防護管の間隔は500mmとし、最も中央寄りの太径管と小径管とが両方同時に車両のタイヤで踏める幅である1850mmとした。表層、路盤の厚さは実道路の設計⁴⁾を参考に薄いケースである表層50mm、上層路盤100mm、下層路盤100mmとし、その下に防護管付ケーブルの埋戻し区間100mmを設け、路床材は地山である関東ロームを用いた(図-4)。路床のCBR値は5箇所平均でCBR=0.8であった。

道路長手方向の中央には沈下計(東京測器研究所製KLC-50AおよびKLA-100A)を設置し、防護管付ケーブルと同深度の土の沈下量を計測した。最重量の車輪が沈下計位置に乗ったときに沈下量が計測できるよう車両の通過を検知するレーザー位置計を設置した。防護管とハンドホールはモルタルによって固定し、ケーブルは変位計(サンテス製GYSE-A-150-S)に接続した(図-5)。

表-1の通りの6ケースにて構築した道路上を繰り返し走行した。様々な車両重量で検証することで沈下量とケーブル移動量の関係を明確にし、正方向と逆方向の両方で検証することでクリーピング現象の再現性を確認することを試みた。ケーブルは大径管、小径管で使用する内で最も軽量の単位長さ当たり0.12kg/mと0.0016kg/mの光ケーブルを用いた。

表-1 検証に用いた車両と走行回数

試験順序	車両総重量(t)	走行回数(回)	走行方向
1	25	250	正
2	25	50	逆
3	20	50	正
4	15	50	正
5	11	50	正
6	1	50	正

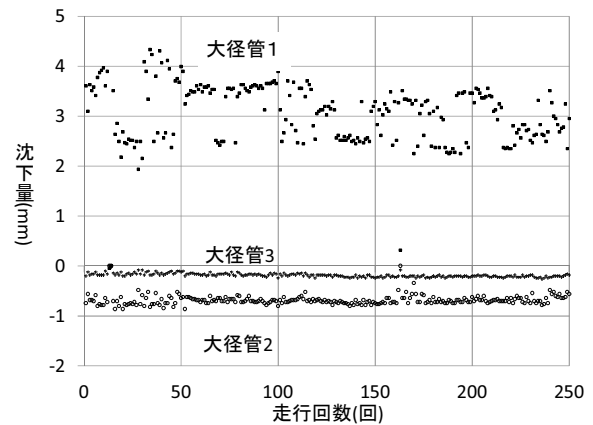


図-6 大径管付近の土の沈下量(車両総重量25t)

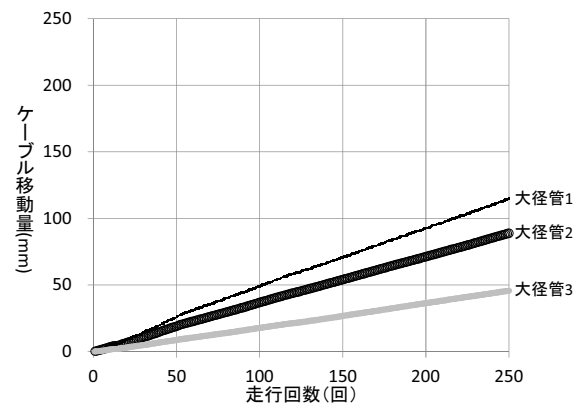


図-7 大径管のケーブル移動量(車両総重量25t)

沈下量、ケーブル移動量共に最重量車輪が沈下計に乗った時と全車輪が道路外に位置するときの両方で毎走行計測した。

(2) 検証結果

車両総重量25tの車両を250回走行させた際の大径管の沈下量を図-6に、ケーブル移動量を図-7に示す。ここで沈下量はN回目走行時の載荷時沈下量から除荷時沈下量を引いたものとした。大径管1がトラックのタイヤ載荷位置直下となっており、大径管2は250mm、大径管3は750mmずつ離れた位置にある。大径管1の沈下量は概ね2～4mm程度で走行回数に関わらず一定の値であった。

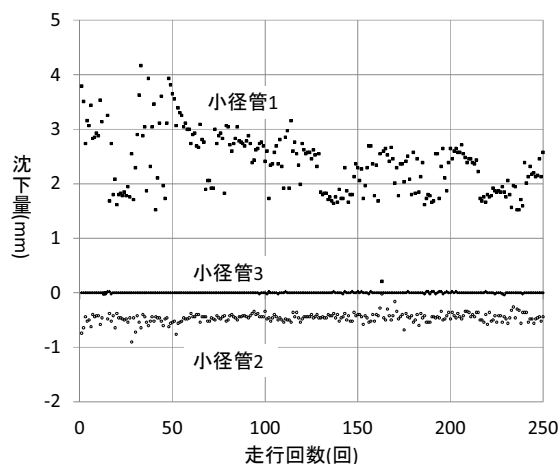


図-8 小径管付近の土の沈下量(車両総重量 25t)

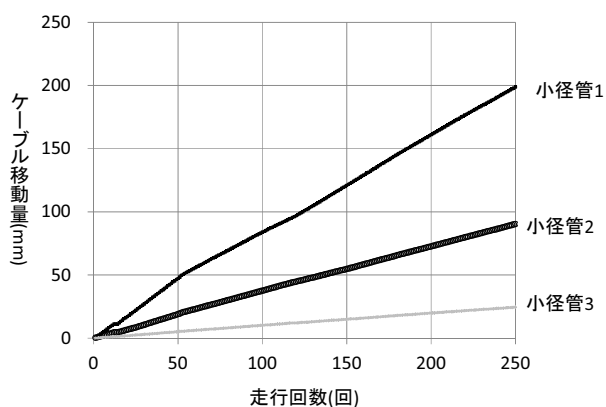


図-9 小径管のケーブル移動量(車両総重量 25t)

表-2 走行方向別の1走行における平均ケーブル移動量

	大径管 1	大径管 2	大径管 3
正方向	0.47	0.36	0.18
逆方向	0.5	0.36	0.16
差異	0.03	0	0.02

また、大径管2は地上方向に1mm程度浮き上がっていた。

ケーブル移動量はどの位置の大径管においても走行回数に応じてケーブル移動量が増加しており、車輪位置から離れた大径管ほどケーブル移動量が小さかった。例えば大径管1では走行1回当たりの平均ケーブル移動量は0.47mmであった。

次に小径管の沈下量を図-8、ケーブル移動量を図-9に示す。沈下量については大径管とほぼ同様の結果であった。ケーブル移動量も大径管と同様に走行回数に応じてケーブル移動量が増加しており、平均値は0.81mmと大径管と比較して1.7倍大きくなっていった。

車両総重量 25t にて正方向と逆方向に走行した際の1走行における平均ケーブル移動量を表-2に示す。正方向、

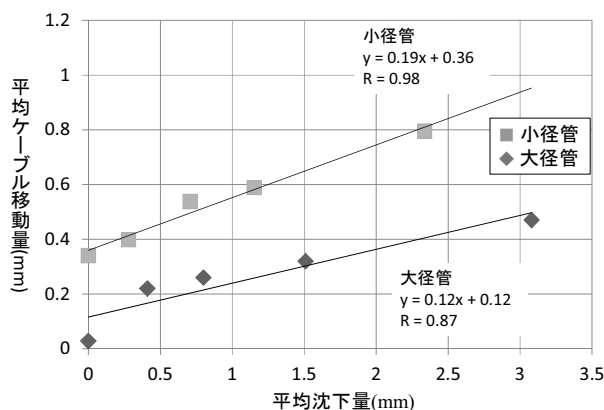


図-10 複数車両重量における沈下量とケーブル移動量の関係(輪荷重直下)

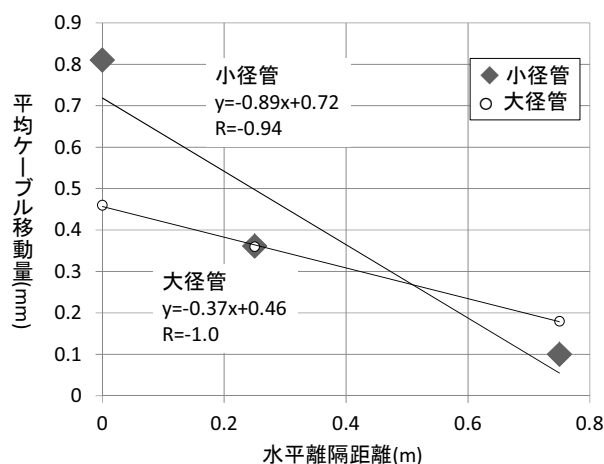


図-11 水平離隔距離とケーブル移動量の関係(車両総重量 25t)

逆走行のどちらにおいても、車両の進行方向へケーブルが移動し、その移動量はほとんど差異が無かったが移動し、その移動量はほとんど差異が無かった。

表-1 のすべての車両重量で検証した際の全走行回における輪荷重直下の大径管の平均沈下量と平均ケーブル移動量をプロットしたグラフを図-10に示す。大径管と小径管共に沈下量が多いほどケーブル移動量は大きく、2項目は相関係数 $R=0.87$, $R=0.98$ と高い相関を示した。ただし、車両総重量が 1t で平均沈下量 0mm (沈下計の最小分解能 0.02mm) においても平均ケーブル移動量は 0.1mm を示していた。

最後にトラック車輪と大径管および小径管における水平方向の離隔距離とケーブル移動量の関係を図-11に示す。大径管、小径管共に離隔距離が大きくなるほどケーブル移動量は小さくなり、2項目は相関係数 $R=-1.0$, $R=-0.94$ と高い相関を示した。

(3) 防護管付ケーブルにおけるクリーピング現象

大径管、小径管の両方で走行毎にケーブル移動量が増加していること、車両走行を逆向きにしても結果の再現

表-3 離隔距離に関する理論値と実験値の比較

	離隔距離(m)		
	0	0.25	0.75
鉛直応力比率（理論値）	1	0.11	0.0013
ケーブル移動量比率（実験値）	1	0.77	0.38

性があることより クリーピング現象が発生するといえる。また、図-10に示すようにケーブル移動量と沈下量には明確な相関があったが、分解能 0.02mm の沈下計にて 0 を示しているのにも関わらず、ケーブルが移動していた。したがって、今回の検証条件では 0.02mm 以下の微小な沈下によってもクリーピング現象が発生することがわかった。

クリーピング現象は管のたわみ部が移動した際に管路とケーブルとの間に摩擦力が発生することで、車両進行方向のケーブル前進力 F_f となる²⁾。一方で管のたわみが無い部分では管とケーブルとの間に静止摩擦力 F_s が存在しており、 $F_f > F_s$ となる条件下でクリーピング現象が発生すると想定される。よって、今回の検証では確認できなかった車両が通過してもケーブルが移動しない条件を把握するには F_f を小さくするもしくは F_s を大きくしなければならないと考えられる。前進力 F_f を小さくするには管のたわみ量すなわち管路直下の土の沈下量を小さくするために、路床の支持力を高くすることや埋設深さを大きくする必要があると考えられる。また、静止摩擦力 F_s を大きくするにはケーブルの種別を変えることで摩擦係数と単位長さ当たりのケーブル重量を大きくすることやケーブル長を長くする必要があると想定される。今回の検証環境では F_f が微小であってもケーブルが移動したことから、クリーピング発生有無が決まる環境条件において路床の支持力や埋設深さの影響は小さいと考えられる。対して、今回は最軽量のケーブルを使用しており、実現場ではより長いケーブル長での敷設も想定されるため、 F_s を大きくすることでクリーピングが発生しない環境を構築できる可能性がある。

トラック車輪と防護管の離隔距離は図-11に示す通り線形近似に良く一致することがわかった。この線形近似モデルによれば、トラック車輪から防護管設置位置の水平距離が大径管では 1.3m 以上、小径管では 0.81m 以上離れればケーブル移動は発生しないと推定される。一方で理論的な地盤内の応力分布は式(2)のブーシネスク式によって示される。

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi^2} \cos^3 \varphi \quad (2)$$

ここで、 σ_z は鉛直地盤内応力度、 P は地表面に作用する鉛直集中荷重、 z は地表面からの深さ、

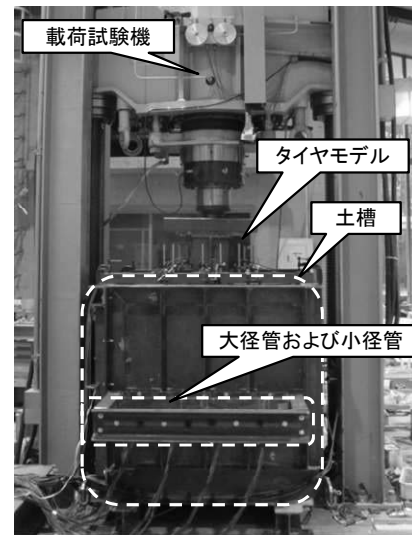


図-12 試験の様子

φ は作用点からの垂線～作用点と任意点を結ぶ直線がなす角度である。式(2)によれば鉛直地盤内応力度は水平距離に対して累乗的に減少するが、検証結果は線形的に減少している。表-3に離隔距離 0m の値を 1 とした時の各離隔距離におけるブーシネスク式による鉛直応力と実験によるケーブル移動量の比を示す。これより、ブーシネスク式による理論値は実験値を過小評価しており、ブーシネスク式では想定されていない応力の影響を考慮する必要があると言える。ブーシネスク式が地盤を半無限弾性体とした仮定に基づいた計算法であるのに対し、今回の検証では図-6の大径管 2 が地表方向に盛り上がっているように土の流動という弾性変形では説明できない土の変形特性が現れている。よって、ブーシネスク式で考慮される鉛直方向の応力以外に砂の水平方向への流動で防護管が押される力がクリーピング現象に影響している可能性がある。

3. クリーピング防止対策の検討

防護管付ケーブルにおいては従来の管路方式とは異なり、鉛直方向からの力で防護管が大きく屈曲することで内包するケーブルに過大な応力が発生する可能性がある。そこで、鉛直方向からの繰り返し载荷に対してケーブルに発生する張力を測定することで、摩擦力のみを考慮して設計した現行のケーブル移動防止金物(限界引張力 600N)が防護管付ケーブルにおいても適用可能かを評価した。試験の様子を図-12に示す。

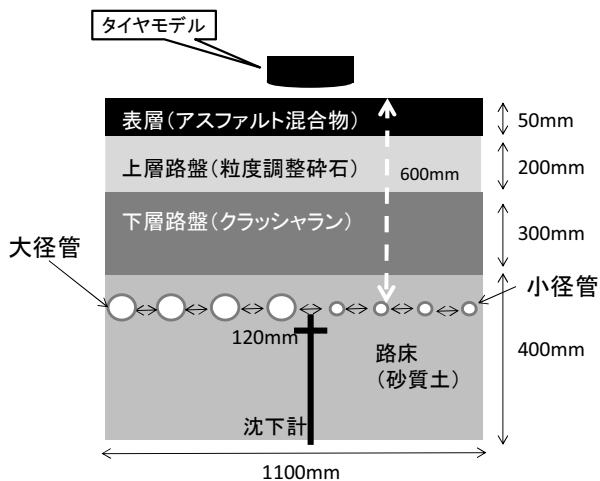


図-13 土槽の断面図

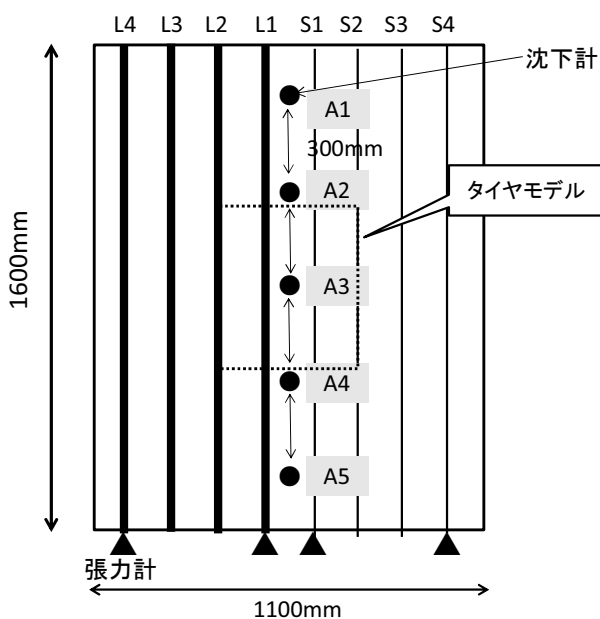


図-14 土槽の平面図

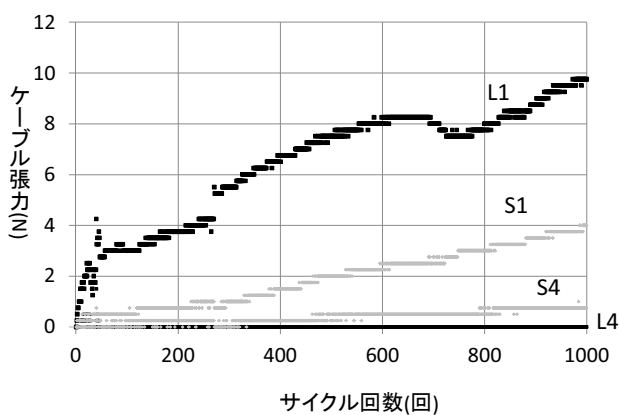


図-15 ケーブル張力

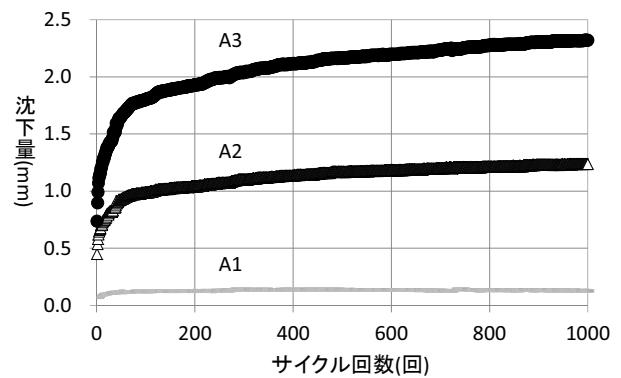


図-16 防護管と深度における土の沈下量

(1) 繰り返し載荷試験の方法

図-13に示す深さ 600mm の砂層内に防護管を埋設した道路を土槽内に構築し、載荷試験機により舗装に繰り返し荷重を与えることで輪荷重下の道路を再現した。舗装は図-13に示す厚さ、路床の設計 CBR=5 とし、 N_4 交通(舗装計画交通量が 100 以上 250 未満(台/日))における疲労破壊輪数の基準に適合する舗装条件⁹⁾とした。荷重条件は T 荷重 1 輪分である 100kN⁷⁾を最大荷重、1kN を最小荷重として交互に 1000 回サイクルとした。

ケーブルの張力を計測するために張力計(東京測器研究所製 TCLZ-1KNA)とケーブルを接続した。さらに、防護管と同深度に沈下計(サンテスト製 GYSE-A-150-S)を埋設して土の沈下量を測定した。沈下計を保護する目的で路床の転圧は通常の重機による転圧では無く、水締めによって実施した。これらの配置を図-14に示す。

(2) 繰り返し載荷試験の結果

各ケーブルの張力の推移を図-15に示す。タイヤモデルから離れた地点(S4, L4)のケーブル張力はほぼ増加しなかったが、近い地点(S1, L1)のケーブル張力はサイクル回数が増える毎に増加していた。輪荷重直下(A3)と土槽長手方向に 300mm(A2)、600mm(A1)地点の 100kN 載荷時のサイクル毎における沈下量を図-16に示す。輪荷重直下に近いほど沈下量が大きく、離れる程に小さくなっていった。また、サイクル回数が増えるにつれて沈下量の増加が小さくなる傾向があった。



図-17 防護管の変位計測時における土槽の様子

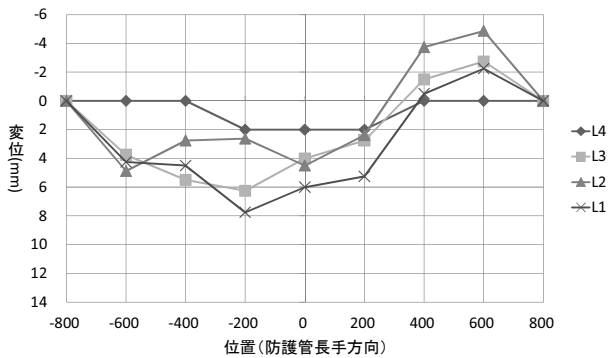


図-18 大径管の変位

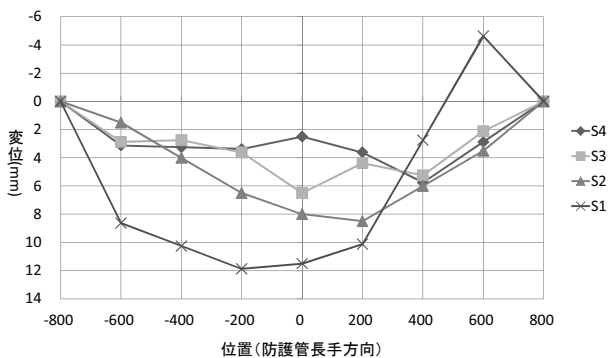


図-19 小径管の変位

(3) 防護管の変位

1000 サイクル载荷試験後、载荷状態にて防護管に無収縮モルタルを流し込むことで固化させた。その後、防護管全体が見える状態になるまで土槽内のアスファルト混合物等の材料を取り除いた(図-17)。その後、土槽壁際の防護管の位置を 0 とし、メジャーで 200mm 間隔にて防護管の変位を測定した。

計測した大径管と小径管の変位をそれぞれ図-18と図-19に示す。ここでは防護管長手方向の中心位置を 0 とした。いずれにおいてもタイヤモデルに近い防護管ほど大きく変位している。大径管の最大変位は 8mm、小径管



図-20 防護管とケーブルの寸法

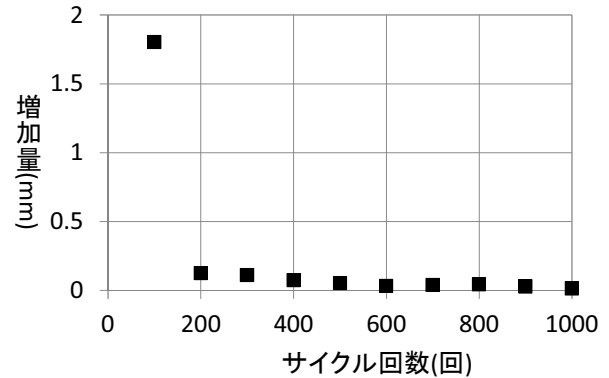


図-21 A3 の位置における沈下量の増加量変化

の最大変位は 12mm となっており同深度の土の最大沈下量 2.4mm よりも大きな値を示した。

(4) 現行のケーブル移動防止金物の適用性

現行のケーブル移動防止金物の限界引張力は 600N であるのに対し、1000 回繰返し载荷によるケーブルの最大引張力は 12N と著しく小さかった。要因としては図-20 に示す通り、防護管とケーブルの間隙に対して、防護管の最大変位が小さく防護管上部片がケーブルを押すような現象が生じなかったためと考えられる。

図-16に示したタイヤモデル直下である A3 の位置の 100 サイクル毎における沈下量の増加量変化を図-21に示す。図-21において 200 サイクル以降は増加量がほとんど増えておらず、900 サイクルから 1000 サイクルにおいては 1.4×10^{-2} mm しか増加していなかった。よって、1000 回以上にサイクル回数を増やしても沈下量はほぼ増加しないと推定される。したがって、実現場においても長期間に渡って防護管付ケーブルを使用しても、防護管とケーブルの間隙が無くなりケーブル張力が急増するような現象が発生する可能性は極めて低いことが示唆された。载荷試験中に測定した土の沈下量に対して、载荷試験後に土槽を掘り起こして計測した防護管の変位が大きい理由は防護管の変位の 0 値が土槽壁面際の防護管位置であるのに対して、沈下計の 0 値は転圧等の一連の土槽構築工程を終えた際の沈下計測定部の位置を 0 にしたためと考えられる。防護管変位の測定に影響し、沈下量測定に影響していない工程は沈下計設置後の路盤材と表層材の投入と転圧である。

投入と転圧である。すなわち、今回の検証条件においては防護管の変位はタイヤモデルによる繰り返し载荷よりも路盤と表層材の転圧による影響が大きい可能性が高い。これについては、今回の路床の締固め方法が水締めを採用しており、地盤支持力が十分に強くなかったことが考えられる。実際には既設の道路上に電柱がある場合において、地中化工事を低コスト化するために防護管付ケーブルが使用される。よって、防護管付ケーブルを使用する実現場は車両の走行により十分に自然転圧がなされている環境である。したがって、実現場において今回の試験環境のように防護管付ケーブルが転圧により大きく変位する可能性は低いことから、ケーブル移動防止金物を適用しても問題は無いと考えられる。

4. おわりに

管路内にケーブルを収容した状態で道路下に埋設して車両が走行した際にケーブルが移動するクリーピング現象に関して防護管付ケーブルが従来方式よりも発生し易いと想定される。そこで、防護管付ケーブルにおけるクリーピング現象の発生有無の確認とその事前予測方法の検討および現行のケーブル移動防止金物の適用可否を検討した。クリーピング現象の発生有無の確認とその事前予測方法の検討は防護管付ケーブルを埋設した道路を構築し、その上を車両が繰り返し走行した際の関連パラメータの計測することで検証した。ケーブル移動防止金物の適用可否については防護管付ケーブルを道路内に埋設した環境を模擬した繰り返し载荷試験をすることで検証した。本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 新たに開発した防護管付ケーブルにおいてもクリーピング現象は発生し、防護管付ケーブル付近の土の沈下量とケーブル移動量には明確な相関関係があり、今回の試験環境下においては沈下量が 0.02mm 以下と微小であっても、クリーピング現象が発生する。
- (2) 車輪と防護管の離隔距離に比例してケーブル移動

量は減少する。今回の試験環境においては車輪と防護管との水平離隔距離が 1.3m 以上あるとクリーピング現象が発生しないことが示唆された。

- (3) 長期に渡っても道路環境下においてケーブル移動防止金物の使用限界張力である 600N を超えるケーブル張力は発生する可能性は低い。ため、現行のケーブル移動防止金物は防護管付ケーブルにおいても適用可能である。

クリーピング現象は微小な土の沈下でも発生する可能性があるため、ケーブル移動防止金物を取り付けることが推奨される。一方で、無電柱化手法は低コストであることが望まれるため、コストの掛かるクリーピング対策は必要な箇所のみに施されることが望ましい。そこで今後は、今回の検証結果からクリーピング現象への影響が大きいと想定されるケーブルの長さやその種別(静止摩擦係数、単位長当たりの重量)をパラメータとして追加検証を行い、クリーピング発生有無の事前予測方法の確立を目指していく。

参考文献

- 1) 国土交通省：第 1 回無電柱化低コスト手法委員会資料 3, pp.4, 2014.
- 2) J. K. Kim, J. S. Yi : Kinematics of cable creepage, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.14, No.1, pp.1-7, 1999.
- 3) 荒川考二, 望月諭 : 9.5mm 同軸ケーブルの耐クリープ設計法, 電子通信学会論文誌, 84/11, pp.1294-1800, 1986.
- 4) 日本道路協会：舗装設計施工指針, pp.192-196, 丸善出版, 2001
- 5) 地盤工学会：入門シリーズ 9 地盤工学数式入門, pp.163, 地盤工学会, 2001.
- 6) 国土交通省：舗装の構造に関する技術基準について, 2001.
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書（I 共通編）・同解説, pp.18-27, 丸善出版, 2012.