

泥炭地盤上の道路盛土の残留沈下と LCC に関するケーススタディ

A Case Study on Residual Settlement and Life Cycle Cost of Road Embankment on Peaty Ground

西 本 聡 (にしもと さとし)

国土研究所 寒地土木研究所 上席研究員

林 宏 親 (はやし ひろちか)

国土研究所 寒地土木研究所 主任研究員

1. はじめに

北海道や東北に広く分布する泥炭地盤上の道路では、非常に大きな沈下が長期にわたって発生するため、供用後の沈下をある程度許容し、維持補修を行いながら供用するのが一般的である。しかし、高規格幹線道路（暫定2車線）の場合、供用後の補修作業が困難なことが多い。また、泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル¹⁾では、許容残留沈下量が経験的に決められており、ライフサイクルコスト（以下、LCC とする）の最小化に向けて再考の余地が残されている²⁾。

本文では、北海道で施工された泥炭地盤上の高規格幹線道路の供用後の沈下および補修履歴の実態から、泥炭地盤上の道路盛土の最適な残留沈下量の設定と LCC 最小化の可能性について考察する。

2. 泥炭地盤の沈下挙動と LCC の考え方

泥炭地盤は、高有機質で特異な工学的性質を有する極めて軟弱な地盤である。泥炭地盤の圧密沈下の概念図を図-1に示す。泥炭地盤の沈下の特徴として、二次圧密と呼ばれる時間の対数に直線的に生じる長期沈下が挙げられ、供用後に沈下が継続する要因となっている。

また、泥炭の下位に軟弱な粘土層が厚く堆積していることが多く、このような地盤を泥炭性軟弱地盤と呼んでいる。泥炭の特殊性に加え、厚い粘土層の存在が長期沈下の問題をより複雑にしている。

「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル（平成14年3月発刊）」では、泥炭性軟弱地盤上に道路盛土を建設する場合、供用後の残留沈下をある程度許容し、維持補修を行いながら供用する方法を標準としている。表-1に同マニュアルの許容残留沈下量の目標値を示す。なお、高規格幹線道路の許容残留沈下量の目標値(10~30 cm 程度)が示されたのは、同マニュアルからであり、それ以前の「泥炭性軟弱地盤対策工指針³⁾（昭和63年10月発刊）」では、規定がなかった。この方法によって、道路建設費を可能な限り抑えるとともに、道路の重要度に応じた路面の平坦性の確保および道路補修費の抑制を図っている。すなわち、従来から図-2に示す LCC や性能設計の概念がある程度導入されていたことになる。ただし、許容残留沈下量が経験的に定められているなど、合理化に向けて課題が残されている。

さらに、高規格幹線道路（2車線）で供用後の補修作

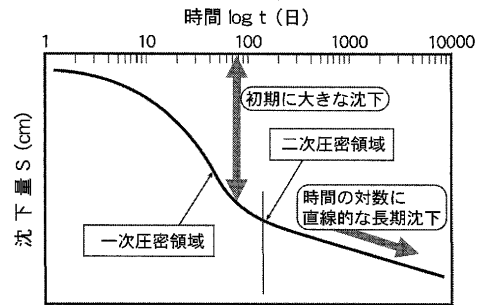


図-1 泥炭地盤の沈下挙動概念図

表-1 許容沈下量の目標値¹⁾

| 区間 | 許容残留沈下量の目標値 | 摘要 | |
|----------------|-------------|------------|------------------|
| 一般盛土部 | 市街地 | 10cm 程度 | 供用開始後 3年間の沈下量 |
| | 郊外地 | 30~50cm 程度 | |
| 高規格盛土区間 | 10~30cm 程度 | | |
| 橋梁等の構造物との接続盛土部 | 10~30cm 程度 | | |

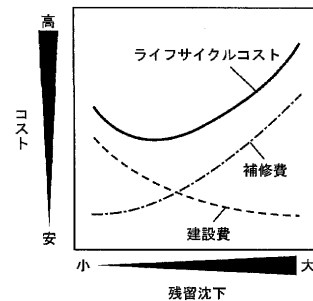


図-2 残留沈下と LCC (概念図)

業を行う場合、通行規制が伴うことから、対応に苦慮することが多い。「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」から高規格幹線道路独自の許容沈下量の目標値が規定された背景には、この点の考慮があるが、今後、LCC および補修実態を踏まえた上で最適化を図る必要がある。

3. 道路の沈下実態と補修工事の履歴

3.1 道路建設・補修工事の履歴

平成10年7月に暫定2車線で供用された北海道内にある高規格道路で調査を行った。当該道路では、供用後に橋梁ならびにボックスカルバートの前後で段差が確認された。供用後の路面沈下は設計時から見込まれており、供用3年目の平成12年から補修工事が行われている。しかし、実際に生じた沈下が予測よりも大きかったことから、通常の補修では対応することができず、供用5

年目にあたる平成15年に大規模な補修工事を余儀なくされた。その後、平成17年と18年に小規模補修工事が行われている。

3.2 地盤の概要と沈下の実態

図-3に地盤の縦断図と平成14年度に実施された供用4年目における路面沈下の計測結果を示す。地盤縦断図には、道路施工高を示している。当該地盤は、KP8.3 kmにある橋梁を境にして大きく分けることができる。ICから橋梁まで(延長3.7 km)は主に粘土から構成される軟弱地盤であり、橋梁からNo. 24ボックスカルバートまで(延長2.2 km)には泥炭が厚く堆積している。道路の施工高は、全線において大きな違いがないにもかかわらず、路面沈下量には地盤構成の違いが明確に現れている。粘土地盤における路面沈下は数 cm から最大で10 cm 程度に収まっているのに対し、泥炭地盤では40 cm を超える沈下が計測された。両者の路面状況を写真-1に示す。

盛土部の軟弱地盤対策工は、抑え盛土併用のプレロード工法(2ヶ年施工)が選定されている。一方、ボックスカルバートは深層混合処理工で改良された地盤上に設けられており、ボックスカルバートには残留沈下がほとんど発生していない。当然ながら、橋梁下部には杭基礎が用いられており、沈下は生じない。したがって、これらの構造物の前後で段差が発生した。なお、段差緩和のため、構造物の前後に深層混合処理によるすりつけ区間を設けるなど、当時としては新しい段差対策技術が採用されているが、当初の予想より残留沈下量が多かったことから、十分な効果を得ることができなかった。

3.3 小規模補修工事

平成12年から14年にかけて、構造物前後の段差解消を目的とした舗装の切削とオーバーレイ、所定の排水勾配が取れなくなり路面水などがたまるようになったことを解消するための路面排水溝の切削が残留沈下対応として実施された。さらに、ボックスカルバート付近において発生した舗装のクラック補修なども行われた。

図-4にその小規模補修の費用を示す。供用4年目までに15~40 cmの残留沈下が発生した橋梁からNo. 24ボックス間では、3年間で1 km 当たり720万円程度の補修費用であったのに対し、残留沈下が数 cm~10 cmであった区間では、その約10%で済んでいる。現在、高規格幹線道路の許容残留沈下量(供用後3年間の目標値)は、10~30 cm程度となっている(表-1)。今回の実測残留沈下量は供用4年後のものなので、厳密な比較はできないが、許容残留沈下量の最小値(10 cm)と最大値(30 cm)では、補修費に大きな差が出るのがわかる。

3.4 大規模補修工事

平成14年までは小規模補修工事に対応したが、予想以上に残留沈下が大きく、小規模補修では対応ができなくなっていた。加えて、縦断線形や防護柵の高さが規定値を満足しなくなる恐れが出てきた。そこで、局所的な段差修正ではなく、路線全体の大規模補修工事が実施さ

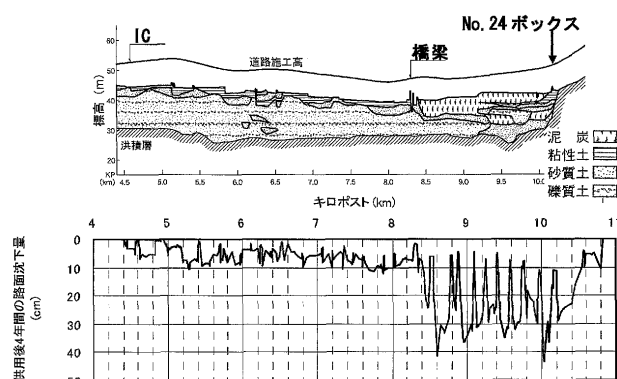
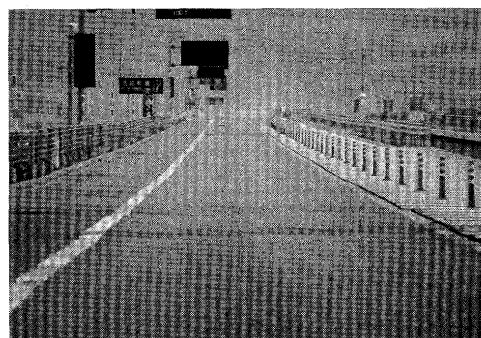
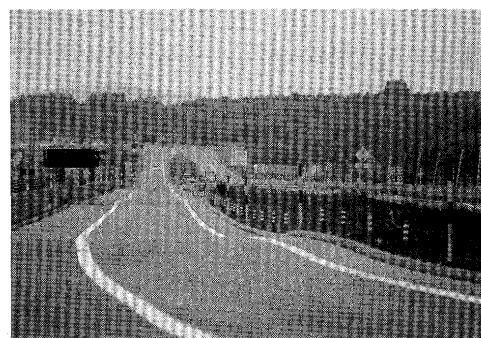


図-3 当該地盤縦断と供用4年目の路面沈下



(a) IC~橋梁間(粘土)



(b) 橋梁~No.24ボックスカルバート間(泥炭)

写真-1 供用4年目の路面沈下

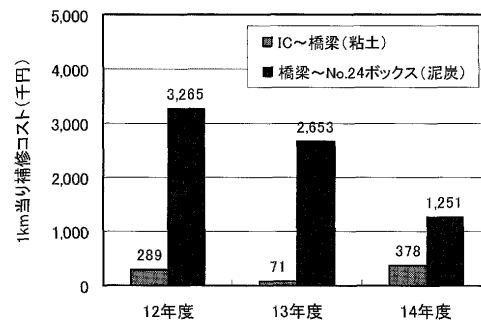
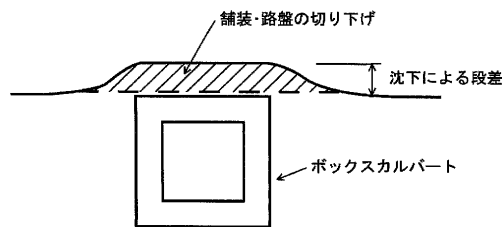


図-4 小規模補修のコスト

れた。当初、設計時の路面高(FH)に戻すため、路線全体にわたって路盤のかさ上げが検討されたが、荷重の増加による再沈下の問題があり採用に至らなかった。最終的には、荷重増による再沈下を極力防ぐように、橋梁のFHをコントロールポイントとした縦断線形の切り下げが行われた。この際、ボックスカルバート上の路面を切り下げる必要が生じるが、路盤を撤去することで対応

報 告



図—5 大規模補修の考え方

した(図—5)。輪荷重が舗装体のみを介してボックスカルバート頂版に作用することになるが、構造計算の結果問題ないことが確認されている。

ICから橋梁区間は、小規模補修工事を繰り返すことで対応可能との考えもあったが、一般道との交点の関係上、全線の通行止めがやむを得ないこと、同一路線間の路面状況の統一および将来の維持補修などを考慮した結果、同じく大規模補修を行った方が有利と判断された。

4. 軟弱地盤対策工の事後評価とLCCの試算

4.1 現時点での評価

当該路線で供用後に発生した沈下は、次の2点が複合して発生したと考えられる。

- ① 泥炭層および粘土層の一次圧密の残留
- ② 泥炭層の二次圧密の発生

当該路線の軟弱地盤解析は、平成3年と4年に実施されている。当時の技術マニュアル類の整備状況などから考えると、当該路線の地盤調査、軟弱地盤解析および対策工の選定は、当時の技術レベルにおいて最善の方法で実施されているが、このような残留沈下を予測できなかったことはやむを得ないことであろう。

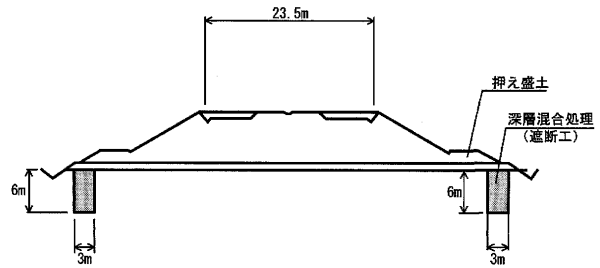
以下において、現時点の技術レベルから当該路線の残留沈下抑止効果とLCCについて事後評価する。

4.2 事後評価の考え方

当該路線の盛土部で採用されている対策工の断面図を図—6に示す。抑え盛土併用のプレロード(2ヶ月施工)と盛土周辺地盤の変形抑制のため深層混合処理工による遮断工法が補助的に用いられている。盛土の放置期間は約9ヶ月であった。

ICから橋梁までは、この工法によって、供用後3年間の残留沈下が10cm以下に抑えられている。橋梁からNo.24ボックスカルバート間の供用後3年間は平均的に20~30cm程度であった。そこで、ICから橋梁間の補修費を高規格道路(2車線)において供用後3年間の残留沈下を10cm(泥炭性軟弱地盤対策工マニュアルの最小値、表—1)としたケース、橋梁からNo.24ボックスカルバート間の補修費を供用後3年間の残留沈下を30cm(同最大値、表—1)としたケースと位置づける。

次に、橋梁からNo.24ボックスカルバート間において、圧密促進工法の一つであるプラスチックドレーン工法を併用した場合を仮想する。当該路線の建設当時、泥炭地盤に対して圧密促進工法の効果はほとんど期待できないというのが定説であった。しかし、その後の研究⁴⁾によって、泥炭地盤におけるプラスチックドレーン工法



図—6 盛土部の断面図

表—2 解析のケース

| ケース | 想定した状況 | ドレーンの施工間隔 |
|-----|-----------------------|------------|
| 1 | 実際に施工された状況通り | — |
| 2 | プラスチックドレーンを併用した場合(仮想) | 80cmの正方配置 |
| 3 | | 100cmの正方配置 |

の効果とその沈下予測法が明らかとなっている。

4.3 プラスチックドレーン工法による改良効果のシミュレーション

最も残留沈下の大きかったKP10.018kmの沈下実測値を基にシミュレーションを実施した。表—2にシミュレーションのケースを示す。まず、沈下実測値を基に双曲線法を用いて最終沈下量(cm)を求め、経過日数と圧密度(%)の実態を整理した。次に、同一地盤、盛土条件でプラスチックドレーン工法を併用したケースの圧密度をウェルレジスタンス⁵⁾を考慮したバロン式によって計算した。この際、沈下実測値から逆算された圧密係数 $C_h=56 \text{ cm}^2/\text{day}$ を用いた。なお、単純化のため、泥炭層の二次圧密は考慮していない。

計算結果を図—7に示す。供用開始時点での実際の圧密度は70%程度であったが、プラスチックドレーンのケースでは、90%程度にまで改善が図られる。今回の解析条件下では、プラスチックドレーンを用いることによって供用後3年間以内で一次圧密が終了する。

図—7の結果を供用後3年間の残留沈下量に再整理したのが図—8である。プラスチックドレーンを80cm間隔で施工した場合、供用後3年間の残留沈下を9cmまで抑制できる。これは、ICから橋梁間の残留沈下レベル(許容残留沈下量の最小値)である。

4.4 LCC算出条件

上記の3ケースの供用後50年までのLCCを次式で試算する。ここで、式(2)のプラスチックドレーン施工費は、ケース2とケース3のみ計上している。式(3)の大規模補修費は、供用後3年間の残留沈下が30cm程度であったケース1のみ計上した。

供用後50年までのLCC=建設コスト

+50年間の補修コスト……………(1)

建設コスト=盛土工費+深層混合処理工費

+プラスチックドレーン施工費……………(2)

50年間の補修コスト=小規模補修費+大規模補修費

……………(3)

また、ケース1における供用後4年間の小規模補修

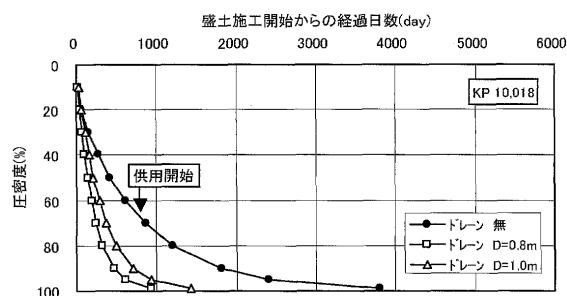


図-7 圧密度シミュレーション結果

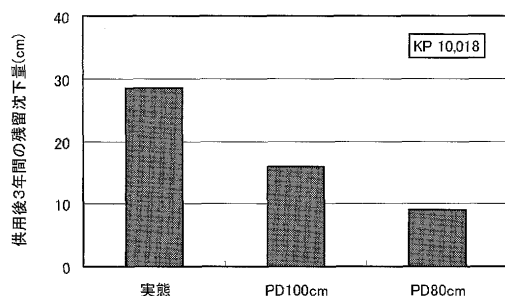


図-8 残留沈下シミュレーション結果

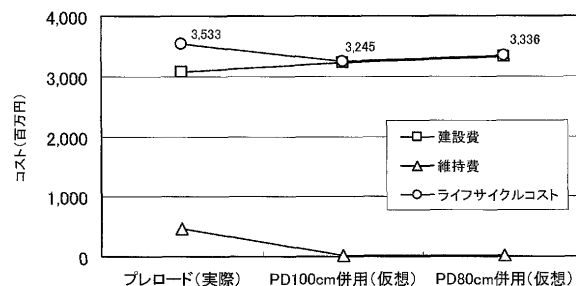
費は、実態に合わせて橋梁からNo. 24ボックスカルバート間で要したコストとした。ケース2と3では、計算で得られた残留沈下がICから橋梁間の残留沈下に近かったため、同区間で実際に要したコストを用いた。供用5年目以降の小規模補修費は、供用20年以上の実績が明らかになっている道央自動車道（札幌から岩見沢間）の段差修正件数⁶⁾を参考に、表-3のように仮定した。建設コストおよび補修コストには、工事経費（直接工事費の30%と仮定）を加算した。なお、建設コストには、用地費、路盤・舗装施工費などもあるが、これらは各ケース共通であり、相対比較では必要ないことから計上していない。

4.5 LCCのシミュレーション

橋梁からNo. 24ボックスカルバート間（延長：2.2 km）における供用50年間のLCC試算結果を図-9に示す。当該区間では、最も経済的なプレロード工法が選定されており、建設コストは低く抑えられていた。しかし、結果的に供用後の残留沈下が大きく、大規模な補修工事など補修コストがかさんだ。一方、プラスチックドレーンを併用した場合、建設コストはわずかに高価になるものの、残留沈下を抑制することから、小規模な補修工事に対応が可能であり、LCCでは6~8%程度コスト削減となる。プラスチックドレーン工法程度の泥炭地盤対策工で対応できるのであれば、現行の高規格幹線道路の供用後3年間の許容沈下量10~30 cmのうち、10 cmを設計目標値とするのが合理的となる。なお、プラスチックドレーンによって、プレロードと比べて一次圧密の残留低減および早期に二次圧密を開始させる効果が期待

表-3 供用期間と補修コスト

| 期間 | 補修コストの比率 |
|----------|----------|
| 供用初期4年間 | 1 |
| 5年目~10年目 | 0.69 |
| 以降10年間ごと | 0.23 |



(図中の数字は、LCCの額を示す。)

図-9 LCCの試算結果

できる。このことでトータルの残留沈下量を抑制すると考えられる。

ここでの試算は、様々な仮定条件下で得られたものである。よって、他の現場条件に、ここでの試算結果をそのまま当てはめることができるものではないことを断っておく。

5. おわりに

泥炭地盤上の道路の実測沈下と補修コストの実態により、残留沈下の設定が道路のLCCに大きく影響を与えることを示した。今後は、泥炭地盤上の道路盛土のLCC最小化に向けて、対策工法や補修履歴を考慮できる長期沈下予測手法の開発や適切な残留沈下量の設定手法の検討が望まれる。

参考文献

- 1) 北海道開発土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル，pp. 47~70, 2002.
- 2) 橋本 聖・西本 聡・林 宏親：泥炭性軟弱地盤における道路の長期沈下とLCC評価の必要性，第27回日本道路学会論文集，2007.
- 3) 北海道開発局開発土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策工指針，pp. 45~73, 1988.
- 4) 林 宏親・西川純一・江川拓也：泥炭地盤におけるプラスチックドレーンの改良効果，北海道開発土木研究所月報，No. 585, pp. 2~8, 2002.
- 5) 吉国 洋：パーチカルドレーン工法の設計と施工管理，技報堂出版，pp. 49~58, 1979.
- 6) 豊田邦男・辻野英幸・門田 浩・坪田邦治：道央道（札幌~岩見沢間）の軟弱地盤における沈下と維持管理について，地盤工学会北海道支部技術報告集，第45号，pp. 253~258, 2005.

(原稿受理 2008.11.19)