

V-1 道路交通への影響を低減する路上工事工法の評価・開発

研究予算：運営費交付金（道路勘定）

研究期間：平 12～平 15

担当チーム：施工技術チーム

研究担当者：大下 武志、小野寺 誠一、
井谷 雅司

【要旨】

舗装修繕や管路敷設等の路上工事は、国民生活を支えるライフラインの構築や安全かつ円滑な道路交通の確保のために不可欠であるが、工事による交通渋滞や騒音・振動などの影響を低減する配慮が強く求められている。これまでも工事件数の縮減や工期の短縮など施策が実施されてきたが更なる低減が求められており、路上工事による影響低減に資する新技術・新工法を適切に評価し、普及促進を図る必要がある。本研究では、路上工事の工程分析等を行い、課題の抽出・技術開発の方向性を提案するとともに、工法の評価手法として外部コストも含めた総コストとして評価する手法を用い、新工法の効果の試算を行った。またこれらの結果を踏まえて、「路上工事工法の評価・開発ガイドブック」を作成した。

キーワード： 路上工事、外部コスト、新工法、交通渋滞、工程分析

1. はじめに

舗装修繕や管路敷設等の路上工事は、国民生活を支えるライフラインの構築や安全かつ円滑な道路交通を確保するために必要不可欠である。しかしながら、現道上での工事となることから、工事による交通渋滞や騒音・振動などの周辺環境への影響が大きく、これらの影響低減への社会的要請が非常に強い。これに対して、これまでも埋設管の浅層化、非開削工法の採用、共同溝化、工事調整・共同施工等による工事件数の縮減や工事終了後の掘削規制等の施策により影響低減に努められてきている（図-1参照）。しかし、依然路上工事縮減への社会的要請が大きく、更に今後は既設施設の更新・取替等の維持管理に対する工事も増加傾向にある。このため、工事縮減のための更なる施策の実施とともに、工事による影響低減のための以下の様な取り組みが必要である。

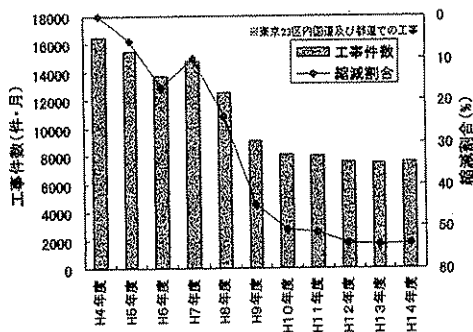


図-1 路上工事件数の推移

- ・ 効果的な新技術・新工法の開発・普及
 - ・ 新技術・新工法普及のための評価手法の確立
- 本研究では、路上工事による道路交通や周辺環境への影響を低減するために、路上工事の工程分析等による課題抽出や、新技術・新工法の開発動向の調査を行い、今後の開発の方向性を提案した。また、新技術・新工法の評価手法として外部コストを含めた総コストで評価する手法を用い、新工法の導入効果に関して試算を行った。更に、管路敷設工事の効率化、路面への影響低減を目指し、施工法改善に関して実験を行った。これらの結果を踏まえ、占用企業者・道路管理者が路上工事を実施する際の新工法・新技術の採用や評価を行うための指針となる「路上工事工法の評価・開発ガイドブック」を作成した。

2. 路上工事の現状分析

2.1 路上工事の工程分析

2.1.1 管路埋設工事（開削工法）の工程分析

路上工事全体の約 3/4 は、企業者による占用工事が占めており（平成 13 年度、東京 23 区内）、占用工事の多くが管路埋設である。近年、非開削工法が多く採用されているが、依然開削工法が大部分を占めており、工事による交通規制等、多くの影響を与えている。このため、各主要占用企業者（上水道、下水道、電気、電話、ガス）が実施する管路埋設工事の標準的な工事内容・工程の調査を行った。

(1) 各工程の所要工事日数

各占用工事の工程別工事日数を図-2に示す。各工事において管路敷設が最も長い日数を要しているが、舗装復旧も工事によっては比較的比率が大きい。

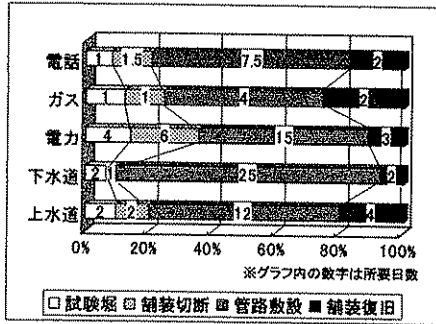


図-2 管路埋設工事の工程比率

管路敷設時の1日当たりの施工延長は、掘削深さ・幅の大きい下水道では5m程度と短い、他の工事では10~17m程度となっている。

(2) 管路敷設の各作業所要時間

開削工法は、掘削から路面仮復旧までを1サイクルとして毎日繰返し施工が行われることが多い。1サイクルの内、各作業内容の所要時間の比率を図-3に示す。管路敷設作業に要する時間は1~2時間程度と全体時間に対してそれ程多くを要していない。一方、掘削・土留設置や埋戻しが全体の25~60%を占めており、工事の効率化を図るためには掘削・土留、埋戻し作業の改善が効果的であることが伺える。

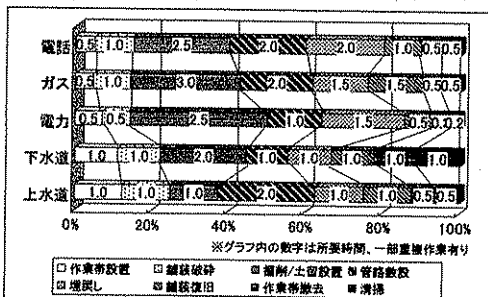


図-3 管路埋設の作業時間比率

2.1.2 大型路上工事の現状調査

道路交通や周辺環境へ長期間影響を及ぼす大型管渠・函渠敷設工事、共同溝工事の状況について首都圏で施工中の大型工事20件(開削工事10件、非開削工事10件)を対象に調査を行った。

(1) 工事規模

開削工事では工事延長は全て1km未満だったのに対して、非開削工事では半数以上が1km以上であり、平均すると開削工事の3倍程度の工事延長である。工期から算定した1ヶ月当たりの平均工事延長は、開削工事では約19mに対して、非開削工事では約56mであり、非開削工事では3倍程度長くなっている。

(2) 交通条件

調査対象工事の現道の平均交通量は、開削工事では約21,000台/日であるのに対して、非開削工事では約30,000台/日であり、道路交通への影響を考慮して非開削工事を採用した側面もあると思われる。交通規制時の1車線当たりの最大時間交通量は、最大でも900台/時/車線である。

(3) 工期

約半分の工事で工期延長が行われ平均して1.2倍程度伸びている。工期延長の理由としては、関係機関との協議や調整の遅れの他、住民からの苦情対応が大部分であり、結果として道路利用者にも長期にわたり負担を強いることとなっている。工事中の苦情は騒音・振動が大部分であり、工事に長期にわたる大型工事の場合には、周辺環境への影響への十分な配慮が必要である。

2.2 路上工事の周辺環境への影響調査

開削工事による管路敷設工事を対象に工事に伴う騒音・振動の測定を行い、周辺環境への影響の調査を行った。調査は、以下の2現場において実施した。

現場①:

- ・ 2車線道路 (1車線規制)
- ・ 電力管敷設工事 (L=6m, W=1.0m, H=2.2m)

現場②:

- ・ 4車線道路 (2車線規制)
- ・ 上水道工事 (L=12m, W=1.25m, H=3.5m)

両現場とも市街地の幹線道路で、夜間のみ工事である。騒音・振動の測定は、工事箇所にもっとも近い官民境界地点において、通常時と工事中に測定を行い、工事の影響を調べた。なお、道路交通への影響は、規制により通行が若干制約を受けるが、目立った渋滞は見られず、交通への影響は少なかった。

現場②における騒音の測定結果を図-4に示す。なお、図中の基準値とは特定建設作業の基準値を表し、今回の作業は特定建設作業に該当しないが参考までに表している。測定結果が

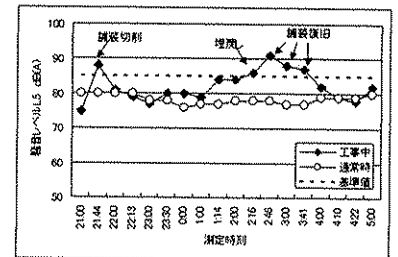


図-4 現場②の騒音測定結果

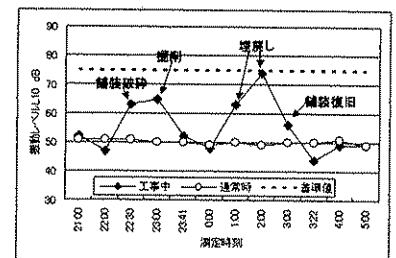


図-5 現場①の振動測定結果

ら、舗装切削及び埋戻し、舗装復旧での騒音が高く、バックホウやハンドローラー及びコンパクトによる影響が大きいと思われる。

現場①における振動の測定結果を図一5に示す。騒音の測定結果と同様に、騒音の大きな作業時に振動も大きくなる結果となっている。

3. 路上工事における新技術・新工法

3.1 新技術・新工法の開発動向と効果

3.1.1 管路敷設工事の改善工法の動向と効果

管路敷設工事での新技術・新工法の開発・採用動向について、占用企業者を対象とした調査を行い取りまとめた。

(1) 調査・設計段階

管路敷設工事を行う際には予め既設埋設管の調査をしなければならず、一般的には試験掘りを行っている。近年、地中レーダー等の非開削により埋設物の確認技術が開発されてきており、掘削回数の低減や副産物の削減などに効果を発揮している。

また、設計では管の材料の軽量化、耐久化が図られ、設計方法や仕様の見直し（浅層化やマンホール間隔の拡大等）などが行われ、コスト縮減や工事期間の短縮に寄与している。

(2) 工事施工段階（開削工事）

開削工事においては、函渠やマンホール等の比較的規模の大きな工事において、外型枠兼用土留壁や組立てマンホールなどの既製品の採用などにより、施工時間の短縮が図られている。

一方、管路敷設では改善工法が少なく、施工機械の改善、材質・材料の変更による施工時間の効率化、騒音・振動の低減が主であり、特に作業時間の多くを占める掘削・土留支保工の各工程において改善があまり進んでいない状況である。

(3) 工事施工段階（非開削工事）

非開削工事では、各種推進工法の開発など各種の技術開発が積極的に行われており、路上工事の改善工法として導入する傾向が見られる。しかし、その適用率は1～3割程度と低く、工事コストの低減や適用条件の拡大など、更なる改善が必要であろう。

(4) 維持管理段階

老朽化した施設の増加に伴い、施設の補修・更新に関わる工事の割合が増加傾向にある。このため、非開削による管路更新や補修、管路の点検技術など技術開発が積極的に進められており、実際の適用事例も増えてきている。

3.1.2 大型路上工事の新技術・新工法の動向

開削工事では、埋戻しへの流動化処理土の採用や掘削底盤の地盤改良の工夫などが見られるが、目立った改善技術は見られない。一方、非開削工事では、シールド工法や推進工法等において、施工精度の向上や長距離掘進化、セグメントの改良など、積極的に技術開発が行われている。

3.2 新技術・新工法の開発の方向性

開削工事は道路交通や周辺環境に与える影響は大きいですが、非開削工事と比較して新技術・新工法の開発・採用が遅れている。また、周辺への影響低減効果が大きいものの、工事コストが高いとの理由で採用されない新技術・新工法も存在する。路上工事における工種別の課題を表一1に示す。

表一1 路上工事の問題点・課題

| 工種 | 現状の問題点・課題 | |
|-------------|-------------------|---------|
| 調査・試験段階 | ・試験等による車線規制 | [交通障害] |
| | ・合機の不整備、不正確 | [非効率工事] |
| 土留工 | ・騒音・振動 | [環境問題] |
| | ・広幅の施工ヤード | [交通障害] |
| | ・工程への割合が大きい | [交通障害] |
| 施工機械 | ・騒音・振動 | [環境問題] |
| | ・立坑、地中連壁等では専用機械 | [非効率工事] |
| 立坑工事 | ・施工条件によっては規模・工期が大 | [交通障害] |
| | ・交差点付近での施工 | [交通障害] |
| 掘削・推進工 | ・小型機械による作業効率の低下 | [非効率工事] |
| | ・非開削工事での土質変化への対応 | [非効率工事] |
| | ・非開削工事のコスト | [建設コスト] |
| | ・シールド工事による建設副産物 | [副産物問題] |
| 構造物構築工(本土工) | ・函渠等の場所打ち施工 | [非効率工事] |
| | ・シールド工事のセグメントのコスト | [建設コスト] |
| 埋戻し工 | ・狭幅による締固め困難 | [非効率工事] |
| | ・供用後の沈下 | [施工品質] |
| | ・流動化処理土のコスト | [建設コスト] |
| 舗装復旧工 | ・仮復旧の要否 | [非効率工事] |
| | ・本復旧時の規制 | [交通障害] |
| | ・騒音・振動 | [環境問題] |
| 基礎地盤改良 | ・専用建設機械 | [非効率工事] |
| | ・プラント設備 | [交通障害] |

これらの課題に対する今後の技術開発の方向性をまとめると以下の様になる。

- ① 精度・効率性の高い埋設物の維持管理
- ② 施工機械の性能向上
- ③ 施工スペースの縮小、期間の短縮
- ④ 新素材・新材料の開発・活用
- ⑤ 現地副産物の改良・利用方法開発
- ⑥ 維持管理・更新技術の向上

今後、路上工事の改善に当たっては、これらの開発テーマに従って技術開発を行っていく必要がある。

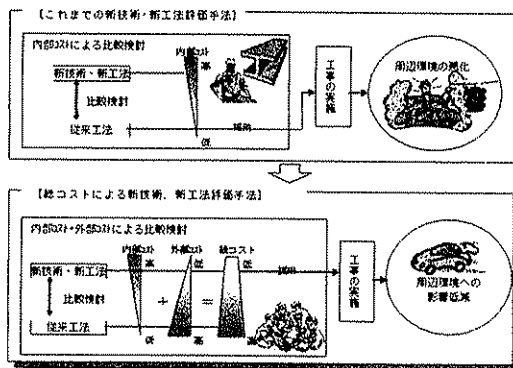
4. 路上工事の工法評価手法

4.1 総コストによる評価

通常、工法選定、技術導入プロセスの中における比較検討は、事業者が負担する工事費（内部コスト）を指標として判断することが一般的である。しかし、工事に伴う交通渋滞、騒音・振動等の影響は、道路利用者や周辺住民が金銭的、時間的、精神的に負担

することになるが、この様なコスト（外部コスト）が直接的に事業者の負担になることは無い。よって、意識はしていても路上工事工法の評価段階で、外部コストが定量的に評価されることはこれまでほとんど無かった。

しかし、路上工事に伴う交通渋滞、騒音、振動対策への関心が高く、路上工事においても道路利用者や周辺住民が求める定時性、快適性、安全性等に答える新技術・新工法の開発が積極的に行われている。このため、内部コストだけでなく、社会一般への負担となる外部コストも考慮した総コストを考えた評価手法（図一6参照）を導入し、積極的な新技術・新工法導入を推進する必要がある。



図一6 総コストによる工法評価イメージ

4.2 新技術・新工法の評価例

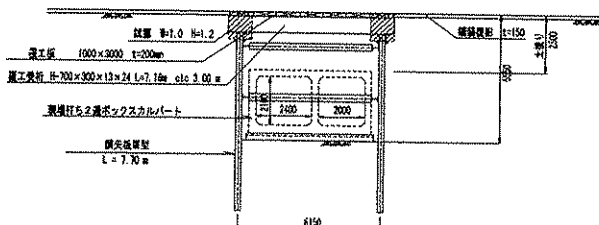
4.2.1 試算例1（4車線工事における大型工事例）

現道上において開削工法により共同溝を設置する工事を対象に、従来工法の場合と新技術・新工法を用いた場合の交通渋滞による外部コストを試算し、その影響を検討した。

(1) 試算モデルの設定

① 検討モデル（図一7）

- ・ 用途：共同溝
- ・ 掘削幅：6.15m ・ 掘削高：5.55m



図一7 検討モデル

② 交通・規制条件

- ・ 交通量：60,018台/日（大型車混入率5%）
- ・ 現道車線数：4車線 ・ 規制車線数：2車線
- ・ 工事規制時間：21:00～翌6:00

(2) 工事費（内部コスト）の算出

土木工事積算基準、建設物価等を参考に、従来工法の内部コスト（ここでは直接工事費）、工期を工種毎に算出した。なお、延長は100mとした。

(3) 外部コストの算出

ここでは、工事に伴う交通渋滞の時間損失費用を算出した。工事中の交通容量は1車線当たり800台/時と設定し、交通量は上下線とも同数として遅れ時間を算出した。

この結果、1方向当たりの総遅れ時間（各車両の遅れ時間の総和）は、2,670（pcu・台）となり、一日当たりの損失額は以下の様になる。

$$(\text{日当たりの損失額}) = 2,670(\text{pcu} \cdot \text{分}) \times 63(\text{円}) \times 2 \text{方向} = 336,420(\text{円})$$

なお、ここでは時間損失の原単位は、大型車混入率が小さく簡便化のため乗用車の値を用いた。

各工程の外部コストを算出すると表一2の様になり、内部コストと比較しても大きな金額となる。特に工期が長い工種（土留工、掘削工、支保工、本体工など）において外部コストが大きく、道路交通への影響の面から特に改善の必要な工種と考えられる。

表一2 従来工法のコスト

| 工種 | 工期 | 内部コスト | 外部コスト | 総コスト |
|-------|------|----------|-----------|-----------|
| 既掘工 | 5日 | 597千円 | 1,682千円 | 2,279千円 |
| 土留工 | 31日 | 20,855千円 | 10,429千円 | 31,284千円 |
| 掘削工 | 50日 | 7,409千円 | 16,821千円 | 24,230千円 |
| 支保工 | 36日 | 8,923千円 | 12,111千円 | 19,034千円 |
| 覆工 | 19日 | 5,710千円 | 6,392千円 | 12,102千円 |
| 本体工 | 153日 | 29,660千円 | 51,472千円 | 81,132千円 |
| 埋戻し工 | 18日 | 8,305千円 | 6,056千円 | 14,361千円 |
| 舗装復旧工 | 4日 | 3,079千円 | 1,346千円 | 4,425千円 |
| 計 | 316日 | 82,538千円 | 106,309千円 | 188,847千円 |

(4) 新技術・新工法の評価例

改善の必要な工種に対する改善工法として、以下の3工法と取り上げ、内部コスト・外部コストの試算を行った。試算結果を表一3に示す。

① プレキャスト製品の使用

本体にプレキャスト製品を用いることにより本体工の工事費が増加するが、本体工の工期を大幅に短縮可能なことから、工期全体の外部コストを大幅に低減でき、総コストは従来工法よりも小さくなっている。なお、2連のボックスカルバートを2個のプレキャスト製品に変更したことから、掘削幅が増加し、掘削・埋戻し等のコストは増加している。

② 幅広鋼矢板の使用

幅広鋼矢板を使用することにより、土留め工の工事費及び外部コストを大幅に低減でき、工事全体の総コストも従来工法に比べて小さくなっている。

③ 土留め杭・外型枠兼用工法の採用

土留め杭と外型枠を兼用することで余堀りをほとんどゼロとなることから、掘削幅が大幅に低減し、

表一三 新技術・新工法の評価例

| 工種 | プレキャスト製品 | | | | 幅広鋼矢板 | | | | 土留め杭・外型枠兼用工法 | | | |
|-------|----------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|--------------|-------|-------|------|
| | 工期 | 内部コスト | 外部コスト | 総コスト | 工期 | 内部コスト | 外部コスト | 総コスト | 工期 | 内部コスト | 外部コスト | 総コスト |
| 試掘工 | | | | | | | | | | | | |
| 土留工 | | | | | -7日 | -15% | -23% | -17% | | | | |
| 掘削工 | +7日 | +14% | +14% | +14% | +1日 | +2% | +2% | +2% | -5日 | -10% | -10% | -10% |
| 支保工 | +3日 | +7% | +8% | +8% | | | | | -2日 | -5% | -6% | -5% |
| 覆工 | +1日 | +7% | +5% | +6% | | | | | | | | |
| 本体工 | -121日 | +36% | -79% | -37% | | | | | | +14% | | +6% |
| 埋戻し工 | +4日 | +27% | +22% | +25% | +0.4日 | +3% | +2% | +3% | -4日 | -20% | | -21% |
| 舗装復旧工 | | +11% | | +8% | | | | | | | | |
| 計 | -106日 | +18% | -34% | -11% | -6日 | -3% | -2% | -2% | -11日 | +2% | -3% | -1% |

掘削・埋戻しの工事費・工期を短縮できている。本体工の工事費が増加しているが、総コストとしては、従来工法よりも小さくなっている。

4.2.2 試算例2 (交差点を横切る管路工事)

幹線道路との交差点を横切る形で管路を敷設する工事を対象に、開削工法と小口径推進工法を用いた場合の外部コストを試算し、その影響を検討した。

(1) 試算モデルの設定

① 検討モデル

- ・ 用途：ガス管路 (φ150mm)
- ・ 掘削幅：0.6m ・ 掘削高：1.0m
- ・ 工事延長：64m ・ 土留め形式：鋼矢板

② 交通・規制条件

- ・ 交通量：54,086台/日 (国道バイパス)
6,966台/日 (市道)
- ・ 規制時間：21:00～翌6:00

(2) 工事費 (内部コスト) の算出

今回は計画段階での工法比較を想定しているため、開削工法と小口径推進工法の概算工事費を算出した。

(3) 外部コストの算出

開削工事に伴う国道バイパス側の交通渋滞による時間損失費用は、一日当たりの総遅れ時間は1,015 (pcu・分) となり、試算例1と同様に算出される。

一方、小口径推進工法では国道バイパスの車線規制を伴わないため、外部コストは生じない。

(4) 総コスト比較

開削工法と小口径推進工法の総コストの比較を行うと表一4の様になる。

内部コストは、小口径推進工法の方が8%程度大きくなるが、外部コストが発生しないため、総コストでは16%も安くなり、工法選定の優位性が見られる。

また、開削工法で施工した場合、工期が5日間と想定されるのに対して、小口径推進工法では3日間となるため、騒音等による周辺へ与える影響も軽減

できるものと考えられる。

表一四 試算結果

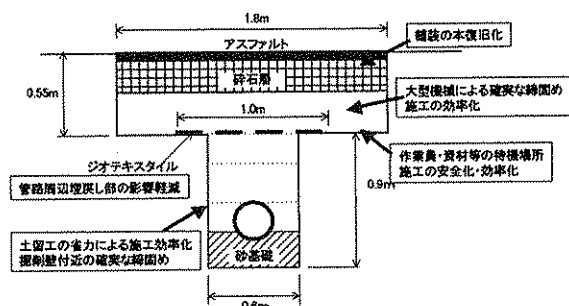
| | 開削工法 | 小口径推進工法 | |
|-------|---------|---------|------|
| 内部コスト | 1,152千円 | 1,239千円 | +8% |
| 外部コスト | 320千円 | 0千円 | |
| 総コスト | 1,472千円 | 1,239千円 | -16% |

5. 管路敷設工事の施工法改善に関する実験

5.1 実験目的

開削工法による管路敷設工事において、1サイクルの中で最も時間を要する作業は掘削・土留め・埋戻しである。また、管路敷設後、掘削部

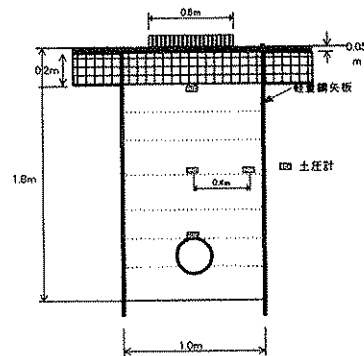
の埋戻しが不十分なため、供用後に路面に段差が生じることがある。これまでは仮復旧後に路面を供用させ沈下の収束を待つて本復旧を行うことが一般的であり、本復旧の際にも道路交通への影響が見られる。このため、管路埋設工事の効率化とともに、工事完了後の路面への影響を最小限に留めるため、これまでの管路埋設工事の施工法・構造を図一8の様に改善することを考え、その効果について実験を行った。なお、本改善工法は3.2の方向性のうち、「施工機械の性能向上」、「施工スペース、期間の短縮」を適用したものである。



図一八 改善工法 (実験 CASE2)

5.2 実験方法

実験は、図一9に示すように従来の管路埋設工事の構造 (CASE1) と上述の改善工法による構造 (CASE2) に対して施工後に繰返し載荷試験を実施し、路面及び管路への影響に対して比較実験を行った。



図一九 従来工法 (CASE1)

管路は、内径250mmの下水道用硬質塩化ビニル管を用い、歪みゲージより管路周囲の歪みを計測した。管路上部の埋戻し土は山砂を用い、締固めは従来工法ではタンパ (70kg) を、改善工法では下層の狭掘削部をタンパで上層の幅広掘削部をハンドガイド式振動ローラ (0.9t) で行った。改善工法に用いた補強材はポリプロピレン製の幅1mのジオグリッドを用い、

横断方向の引張り歪みを計測した。CASE1 では掘削深さ 1.5m を超えるため、管路敷設・埋戻し時には鋼矢板による土留めを設置し、深さが 1.0m 未満になった時点で鋼矢板を引き抜いた。載荷は、パイロハンマを用いて載荷圧 200kN/m² (載荷板 0.5×0.6m) で 10 万回まで繰返し載荷を行った。

5.3 実験結果

施工時の埋戻し部の深さ方向の強度分布を図-10 に示す。従来工法では、掘削端部にて矢板引抜きの影響を受けて下層部で強度が低下しているのが確認される。一方、CASE2 では掘削部端部における急激な強度増加は見られず、比較的均一に埋戻しが出来ていることが確認された。施工の効率性については、事前の試験にて締固め機械の違いによる転圧時間の比較を行った結果、ハンドガイド式振動ローラの場合

がタンパよりも 1/2 ~ 1/3 程度の所要時間で転圧可能なことが確認された。

繰返し載荷実験による地表面の沈下量を図-11 に示す。1 万回程度までは CASE2 の沈下量が小さく施工法の違いや補強材の敷設の効果が表れているが、3 万回を過ぎたあたりから CASE2 の沈下量が増加し始め、最終的には CASE1 と同程度となっている。

この原因としては、図-12 に示すように補強材の横断方向の歪み分布が 1 万回を過ぎると端部の引張り歪みが大きくなってきており、補強材の敷設幅が十分でなかったために補強材の引張り歪みの増加とともに端部の引抜きが生じ、沈下抑制に対する効果が小さくなり、沈下量が増加し始めたものと思われる。

る。このため、補強材に十分な定着長・剛性を確保すれば沈下抑制効果はより大きくなるものと考えられる。

一方、載荷時の管路外側の歪み変化を図-13 に示す。管路上端及び側面の歪みは CASE2 では埋設深さが浅いにもかかわらず CASE1 に比べて変化が小さい。管路上部に敷設にした補強材及び掘削部内の比較的均一な埋戻しによるものと考えられる。

6. 「路上工事工法の評価・開発ガイドブック」

路上工事による道路交通や周辺環境への影響を低減するための新技術・新工法の開発とその普及を促進することを目的として、占用企業者や道路管理者が路上工事において新技術・新工法を導入する際の選定・評価の考え方をまとめたガイドブック案を作成した。ガイドブックの目次(案)を以下に示す。

1. 概要

- 1.1 目的
- 1.2 適用の範囲
- 1.3 用語の定義

2. 都市部における路上工事影響低減の取り組み

- 2.1 施策としての取り組み
- 2.2 今後の取り組み

3. 路上工事における技術開発の方向性

4. 路上工事工法評価手法

- 4.1 評価手法の実施段階
- 4.2 評価手法の概要
- 4.3 外部コスト算出手順
- 4.4 外部コストの算出手法
- 4.5 外部コスト削減のためのチェックポイント

付録 1. 交通容量の算出方法

付録 2. 新技術・新工法導入時の評価事例

付録 3. 騒音・振動コストの算出例

付録 4. 新技術・新工法の概要

7. まとめ

今後は、占用企業者や道路管理者へのガイドブックの普及を図るとともに、工法評価手法である外部コストの算出方法の複雑な現場条件への対応や交通渋滞による走行時間損失以外の外部コスト項目の算出等、算出方法の更なる精度向上を図る必要がある。

参考文献

- 1) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案)、平成 10 年 6 月

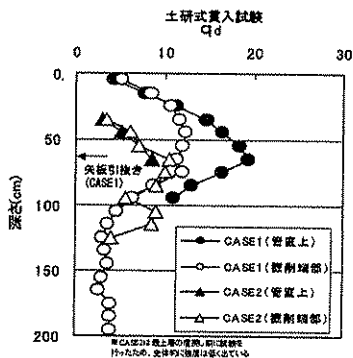


図-10 埋戻し部強度

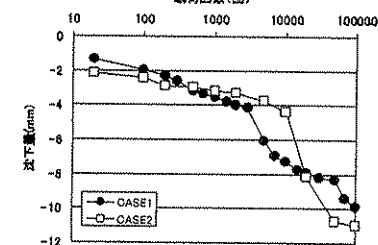


図-11 地表面沈下量

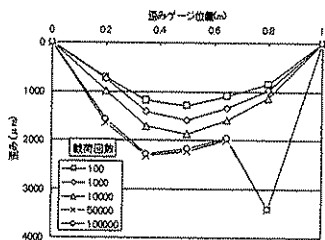


図-12 補強材歪み

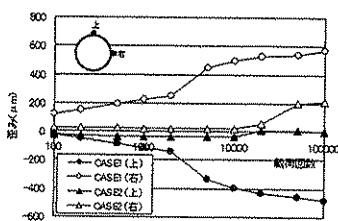


図-13 管路の歪み