

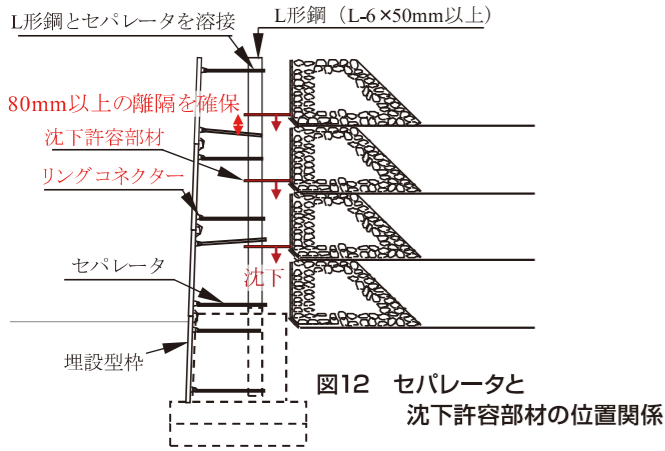
RRR工法協会だより

Reinforced Road with Rigid Facing Construction System

No.54 2024.8

『小型プレキャスト型枠を用いたRRR-B工法の背面施工法』 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部計算力学研究室 倉上 由貴

によっては、沈下許容部材とセパレータが干渉する場合も考えられる。セパレータは多少の角度を持たせた状態でも溶接固定が可能であるため、セパレータは沈下許容部材との離隔を80mm以上確保することが可能と考えられる。



セパレータと沈下許容部材との離隔を80mm以上確保するように配慮した場合には、施工誤差や溶接部の脚長を考慮すると、沈下許容部材は70mm程度の沈下に追従可能と考えられる。図13の結果を用いて累積沈下量を算出すると、累積沈下量の最大値が70mmとなるのは、砂質土・礫質土ともに擁壁高さ4.5m程度である(図14)。しかしながら、計算値と試験値でバラツキがあることも考慮すると、現時点では擁壁高さ4.0m程度を適用範囲として設定している。

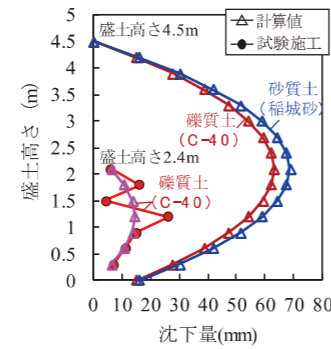


図14 盛土高さと各層の沈下量の関係

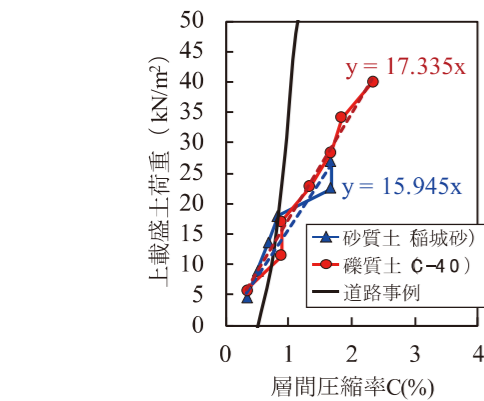


図13 盛土の圧縮率

(2) 盛土の層間圧縮率

図13には、試験施工で確認された平均的な層間の圧縮率と上載盛土荷重の関係を示す。試験施工では、礫質土としてクラッシュラン(C-40)のほか、砂質土として稲城砂(Dc=90%(E-c法)、締固め層厚0.3m)⁹⁾を用いて構築した。参考に道路事例の結果も示す。砂質土と礫質土で多少のバラツキがあるものの上載盛土荷重の増加に従って圧縮率は増加傾向を示し、道路事例でも同様の傾向を示している。上載盛土荷重が増加すると層間圧縮率は、道路事例よりも本試験施工の結果の方が大きい。これは、締固め層厚の違いなどに起因するものと考えられる。道路事例では締固め層厚0.6mであるのに対して、試験施工では締固め度Dc=90%を確保するために、砂質土で締固め層厚0.3m、礫質土で締固め層厚0.15mとした。また、一般的に礫質土よりも砂質土の方が圧縮しやすいが、本試験施工で砂質土と礫質土で類似した傾向を示したのは、この締固め層厚の違いによるものが一因として考えられる。

(3) 沈下許容部材の適用高さ

図14中の盛土高さ2.4mの結果は、沈下許容部材設置後の沈下量と盛土の高さの関係を示す。試験施工の沈下量は、測量で計測された残留沈下量を示し、計算値の沈下量は図13の結果(礫質土)を用いて累積沈下量を算出したものである。試験施工の結果では高さ1.2mと1.5mの点でバラツキがみられたものの計算値と同様の挙動を示し、沈下量は中腹部で最大となった。これは、沈下許容部材を取り付けた当該層の沈下に加えて下層の圧縮沈下の影響を受けるためである。これは道路事例でも類似の関係が得られている。

【編集委員会名簿】

委員長：佐藤靖彦(西松建設(株)) 委員：神田隆真(前田建設工業(株))・田中翔太(㈱クラレ)・西村淳(三井化学産資(株))・小阪拓哉(㈱複合技術研究所)
事務局：田村幸彦・川上美子(㈱複合技術研究所)
【協会事務局】
〒160-0004 東京都四谷1-23-6 協立四谷ビル5F (株)複合技術研究所内
TEL:03-5368-4103 FAX:03-5368-4105 ホームページ <https://www.rrr-sys.gr.jp>

5.2 その他の留意点

- 施工上の留意点として、以下の項目などをマニュアルに記載している。
- 小型プレキャスト型枠は設計基準強度36N/mm²を目標に配合設計がなされており、型枠の曲げ試験やセパレータ取付リングの引張強度から小型プレキャスト型枠の許容側圧は30kN/m²としている。
 - コンクリート打設時には側圧が30kN/m²以下となるように、コンクリートの温度やスランプ量に応じてコンクリートの打上がり速度を調整する必要がある。
 - 小型プレキャスト型枠は壁面の構造部材ではないが、供用時にも残置されるため、小型プレキャスト型枠が地震時に脱落しないことを照査する。なお、脱落防止のために小型プレキャスト型枠に取り付けた付着強化コネクタが、十分な引抜き耐力(付着力)を有していることを確認している。
 - 実施工では、鉄筋工、型枠工、盛土工は盛土側から交互にまたは並行して実施することになるので、安全面からも各工種の施工工程管理の検討が必要となる。

6. おわりに

足場を不要とした施工法として、小型プレキャスト型枠と沈下許容部材を併用した背面施工法について紹介した。試験施工により、背面施工法の実現性を確認し、高さ2.4mの擁壁においては盛土の沈下に対して沈下許容部材が機能していたことが実証された。沈下許容部材の沈下追従性を考慮すると、本工法の適用高さは4.0m程度と整理した。

本報で紹介した小型プレキャスト型枠ならびに沈下許容部材を用いた背面施工法については、2024年10月に発刊が予定されているRRR-B工法的设计・施工マニュアル¹⁾ならびに積算マニュアル⁶⁾、材料マニュアル⁷⁾の改訂版に記載している。

【参考文献】

- RRR工法協会 RRR-B工法(剛壁面盛土補強土擁壁工法)設計・施工マニュアル、令和元年6月
- 小浪岳治、山下喜典、杉浦充明 残留型枠を用いたコンクリート擁壁の施工技術、令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会、VI-724、2022
- 倉上由貴、高木翔太、中島進、小浪岳治、山下喜典 補強土擁壁における補強材の配置間隔及び壁体構築方法が施工時安定性に及ぼす影響、第38回ジオシンセティックス論文集 38巻、p.122-129、2023
- 西日本旅客鉄道株式会社 土木工事標準示方書、2014
- 土木学会 コンクリート標準示方書【施工編】、2017
- RRR工法協会 RRR-B工法(剛壁面盛土補強土擁壁工法)標準積算マニュアル、2019
- RRR工法協会 RRR工法による補強盛土工法 材料マニュアル、2023

1. はじめに

RRR-B工法は、剛な一体の壁面工を適切に構築することが重要であり、ジオテキスタイルと躯体コンクリートとを一体化するために裏型枠は取付けないで躯体コンクリートを打設している。その際に、壁面の躯体コンクリートが盛土の沈下の影響を受けないように、補強盛土を先行構築し、盛土の沈下が収束した後に壁面を構築するのが必須である。このような施工手順であることから、壁面構築時には、足場の設置が必要となる。

一方で、鉄道の連続立体交差事業や複線化事業では、擁壁端部が、営業線や道路・民家等に極めて近接した状態での工事となることも多い。このような、営業線や道路・民家に近接した狭隘箇所での工事では、足場設置のための施工スペースが十分に確保できず、壁面の施工が困難となる場合もあった。

そこで、足場を不要とした施工法として、小型プレキャスト型枠と沈下許容部材を併用した背面施工法を開発した。本報では、開発した背面施工法の紹介と、それに伴うRRR-B工法(剛壁面盛土補強土擁壁工法)設計・施工マニュアル¹⁾の改訂(2024年10月発刊予定)内容について報告する。

2. 狭隘箇所施工時の課題

現行の補強土擁壁の壁面型枠の固定方法を狭隘箇所での施工に適用した場合の課題について整理する。仮押さえ材に溶接金網を用いた場合における壁面型枠(合板型枠)の固定方法を図1に示す。型枠のセパレータは基礎工に建て込まれたL形鋼に溶接固定される。さらに、盛土側の外型枠固定用金具がL形鋼に溶接固定されることで、型枠は、L形鋼を介して盛土側から支持されている。現行の施工法では、型枠は、沈下収束した盛土側から支持されているため、盛土の構築による沈下の影響は受けにくい。

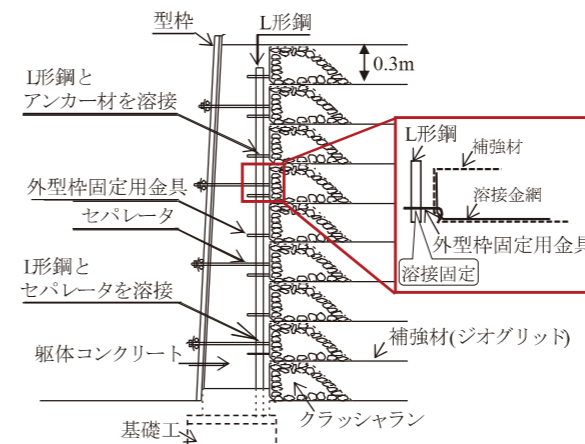


図1 現行の壁面型枠の固定方法¹⁾

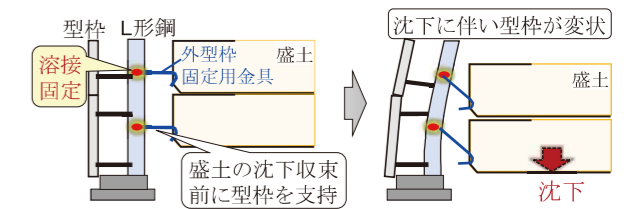


図2 同時施工における課題

これに対して、足場を用いずに盛土の背面側から型枠を施工するためには、補強盛土と型枠を同時に構築する必要がある。現行の固定方法の場合、何も対策せずに補強盛土と型枠を同時に施工すると、図2に示すように、盛土の沈下に伴いL形鋼を介して型枠が変状するという課題がある。

型枠の種類として、合板型枠のほか、RRR-B工法用プレキャストコンクリートパネルがある。RRR-B工法用プレキャストコンクリートパネルは型枠の代替として使用すると同時に、躯体の一部として使用することができ、脱型が不要である。省力化施工・工期短縮に寄与する部材であるが、寸法は、幅2,000mm、高さ1,008mm、厚さ125mmで重量584kg/枚であり、施工には大型クレーンが必要となる。また、施工時には足場が必要となるため、営業線や民家等に近接した狭隘箇所では施工性に改善の余地があると考えられる。

以上より、足場を不要とした施工法を実現するためには、盛土背面側から設置可能な型枠を用いて型枠と補強盛土の同時施工が可能な機構を開発する必要がある。

3. 小型プレキャスト型枠を用いた背面施工法の開発

盛土背面側からの型枠施工が可能な小型プレキャスト型枠と、開発した沈下許容部材を併用することで型枠と補強盛土の同時施工を可能にする背面施工法を開発した。

3.1 小型プレキャスト型枠について

盛土背面側からの型枠の設置を可能とし、脱型作業を不要とするために、小型プレキャスト型枠を用いることを検討した。図3に小型プレキャスト型枠(標準仕様)²⁾の背面図と断面図を示す。

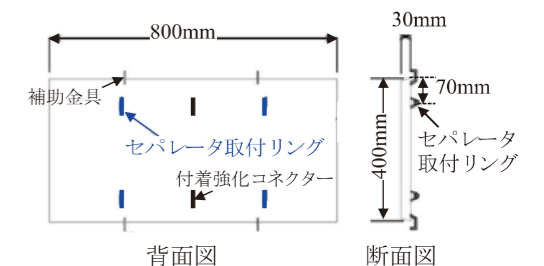


図3 小型プレキャスト型枠の背面図と断面図

小型プレキャスト型枠の標準仕様は、幅800mm、高さ400mm、厚さ30mmで重量20kg/枚と小型かつ軽量であり、盛土背面側からの小型バックホウ・人力での施工が可能である。型枠の背面には、セパレータ連結用のリングコネクターのほか、供用時における埋設型枠の脱落防止のための付着強化コネクタが取り付けられている。

図4に埋設型枠を用いた背面施工法の手順を示す。基礎工を施工したのち、補強盛土の施工と同時に埋設型枠を立ち上げ、補強盛土と型枠を構築する。なお、埋設型枠の設置は盛土背面側からの人力施工が可能であるが、型枠設置時における型枠の落下防止のために、盛土側からの小型バックホウでの吊上げを想定している。補強盛土の沈下が収束したのちに、コンクリートを打設し、補強盛土と壁面の定着を図る。

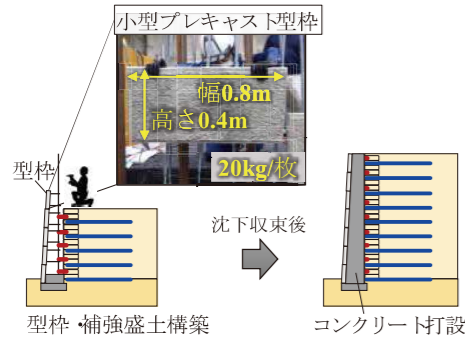


図4 小型プレキャスト型枠を用いた背面施工法

3.2 沈下許容部材の開発について

背面施工法では、補強盛土と型枠を同時に構築する必要があるため、これらの同時施工を可能にする解決策を検討した。施工時に型枠に作用する荷重として、風荷重やコンクリート打設時の側圧が型枠の水平方向に作用する。補強盛土と型枠を同時に施工した場合には、上述した水平方向の荷重に加えて、図2に示した補強盛土構築時に発生する沈下・はらみ出しによる影響も生じる。

施工時の補強盛土の沈下は盛土の施工とともに増加するが、はらみ出しについては、転圧する当該層以降は収束する傾向にある。内容は文献⁹⁾に詳しい。つまり、盛土の変形に追随するためには、水平方向は盛土1段転圧後に拘束することで、はらみ出しが型枠に大きな影響を及ぼすことは回避できるが、鉛直方向は盛土の沈下に対して追随するためにスライド可能な機構を設ける必要がある。

これらの影響を考慮して、図5に示すように、L形鋼に対して水平方向には固定しつつ、鉛直方向にはスライド可能な構造を持つ沈下許容部材を開発した。沈下許容部材は、L形鋼に側面から簡易に設置でき、通常使用される外型枠固定用金具の先端部(型枠側)に溶接固定することで接続する。これにより、風荷重やコンクリート打設時における側圧の水平方向の荷重に対しては、沈下許容部材が補強盛土を反力として抵抗することで壁面の変位を抑えつつ、沈下許容部材がL形鋼に沿ってスライドすることで盛土の沈下に追随可能となり、型枠と盛土を同時に施工できる。なお、転圧による盛土の沈下・はらみ出しの影響を避けるため、沈下許容部材は、沈下許容部材を設置する当該層の盛土の転圧後に外型枠固定用金具の先端部に設置し、水平方向を固定することとする。

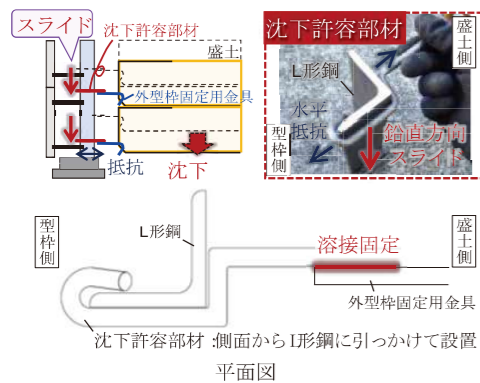


図5 同時施工を可能にする沈下許容部材

4. 試験施工

4.1 試験施工の概要

埋設型枠と沈下許容部材を使用して、足場を設けない背面施工法で実施した。試験体の概要図を図6に示す。試験体の寸法は、高さ2.4m、幅2.0m、奥行2.0mとし、埋設型枠は千鳥配置とした。

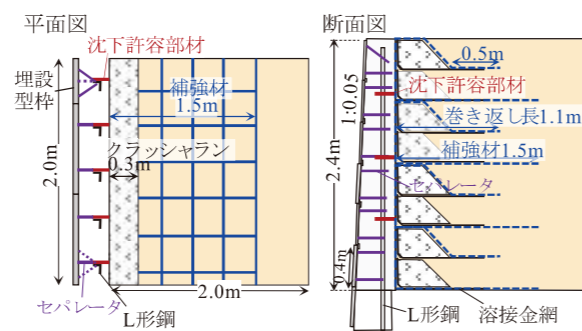


図6 試験体の概要図

盛土材はクラッシュラン(C-40)をDc=90%(E-c法)を確保できるように締めめた(締めめ層厚は0.15m)。RRR工法では補強材の鉛直方向の配置間隔は0.3m毎が原則であるが、本試験施工では、補強材の鉛直方向の敷設間隔に関する検討も兼ねていたため⁹⁾、試験的に鉛直方向の配置間隔は通常の数倍となる0.6mに広げ、敷設長は最低敷設長の1.5mとした。溶接金網2段に対して補強材を1層敷設する配置となることから、巻き返し部の補強材は、溶接金網2段分をまとめて盛土部に巻き返して施工することで、上下段の金網が一体となる構造とした。沈下許容部材を設置した外型枠固定用金具は、補強材の敷設と同じ層(0.6m毎)に配置した。つまり、本来、外型枠固定用金具は各溶接金網に設置するため高さ方向に0.3m毎に配置されるが、本試験施工では0.6m毎と通常の半分の間隔である。

施工手順と試験施工の様子を図7に示す。施工手順は、最初に基礎工を施工するが、この際にL形鋼を建込む(図7手順①)。その後、埋設型枠を設置しL形鋼にセパレータを溶接固定した(図7手順②)。補強盛土を1段構築した後に外型枠固定用金具の先端部に沈下許容部材取付け、沈下許容部材をL形鋼に設置した(図7手順③)。埋設型枠・補強盛土の構築が完了した後に、埋設型枠内のコンクリートの打設を行った(図7手順④)。

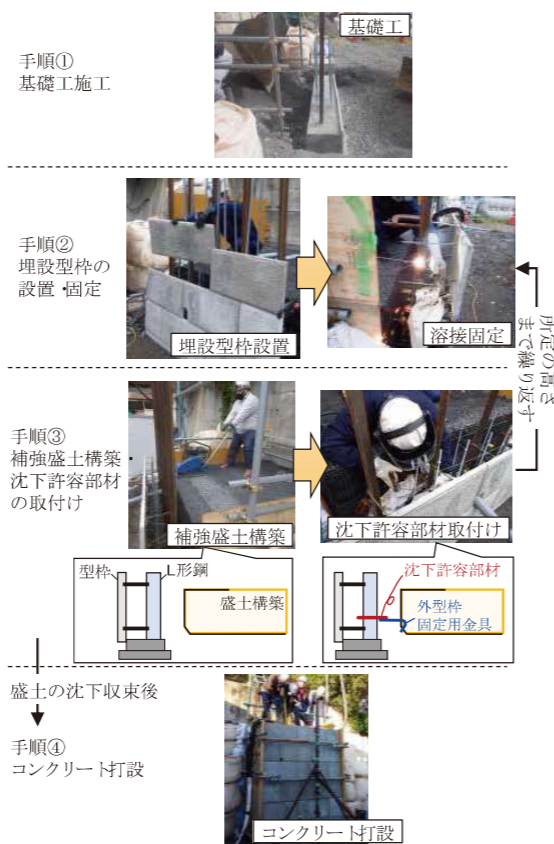


図7 施工手順と試験施工の様子

4.2 試験施工の結果

(1) 型枠の設置精度

補強盛土完成時の埋設型枠の設置精度を図8に示す。ここでの型枠設置精度とは、壁面を1:0.05の勾配で設計しているため、この勾配を基準とし、そこからのずれ量として整理した。

型枠に対する鉄道構造物としての明確な基準は定められていないが、目安として設計位置に対する±5mmの精度を黒破線で示した。5mm程度の変動に抑えられており、一定の精度で埋設型枠を設置できていることを確認した。参考までに、鉄道構造物を対象とした擁壁の仕上がり寸法の一例として±20mmの基準値⁴⁾があり、この基準値と比較しても埋設型枠を用いることに問題がないことを確認した。

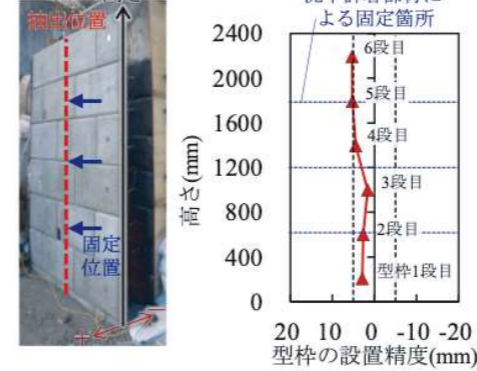
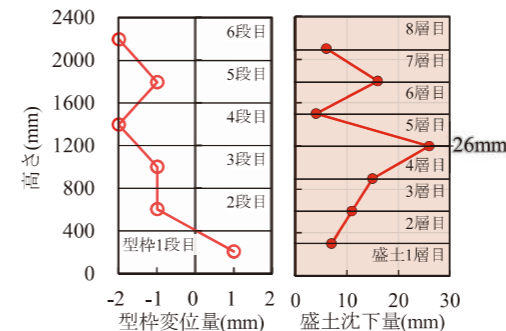


図8 型枠の設置精度

補強盛土施工時の盛土の沈下に対する沈下許容部材の効果を確認するため、図9には型枠設置時を初期とした盛土構築後の型枠の水平方向の変位量と各層の盛土沈下量を示す。ここで示す各層の盛土沈下量とは、各盛土層の境界面にターゲットを設置し、盛土完成後にターゲットの沈下量を計測することで求めた。これより、盛土の沈下が最大で26mm生じていたのに対して、型枠の変形量を2mm以下に抑えられたことから、盛土の沈下に対して沈下許容部材が機能していたといえる。以上より、沈下許容部材を用いることで補強盛土と埋設型枠の同時施工が可能なが確認された。



(a) 型枠の変位量 (b) 盛土の沈下量

図9 沈下許容部材の効果確認

(2) コンクリート打設時の状況

コンクリートの配合設計は、普通ポルトランドセメント、粗骨材20mmを用いて、呼び強度21N/mm²、最大水セメント比60%、スランプ21cmのコンクリートを打設速度2.4m/hを目安として打設した。なお、コンクリート打設時の外気温は19℃であった。本試験施工では比較的大きなスランプで側圧が大きく作用しやすい条件とした。

図10にコンクリート打設中の埋設型枠の変位の時刻歴を示す。埋設型枠の変位は、打設直前を初期値とした変位増分をプロットしており、埋設型枠が外側にはらみ出る方向を正としている。

施工時の状況として、打設高さ1.65mの時点で配置高さ1.8mの水抜き孔と型枠の間に隙間が生じたため、打設を一時中断し(3分程度)、モルタルパテを用いて埋めることで補修した。打設高さ2~2.25mの段階で、5段目、6段目の埋設型枠の変位が急激に増加したため、打設を一時中断し(8分程度)、埋設型枠が外側に変位しないように拘束した。

埋設型枠の最大変位量(はらみ出し量)は17.3mmであり、これ

は擁壁の仕上がり寸法の一例である±20mmの基準値⁴⁾を満たしてはいるものの、現行仕様と同様に0.3m毎に沈下許容部材を配置することでより拘束力が高まり、型枠の変位を抑制できると考えられる。本試験施工では、補強材配置に合わせて沈下許容部材を0.6m毎に配置したが、コンクリート打設時における型枠変位量を軽減するために、沈下許容部材は現行仕様と同様の0.3m毎の配置とする必要性が確認された。

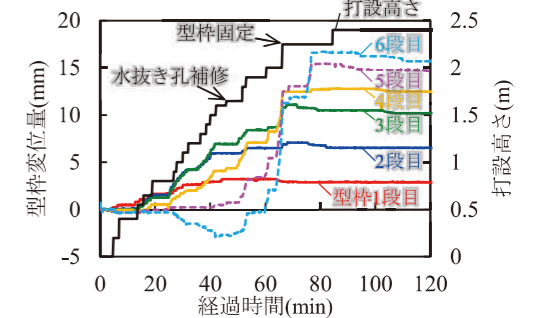


図10 コンクリート打設時の型枠変位の時刻歴

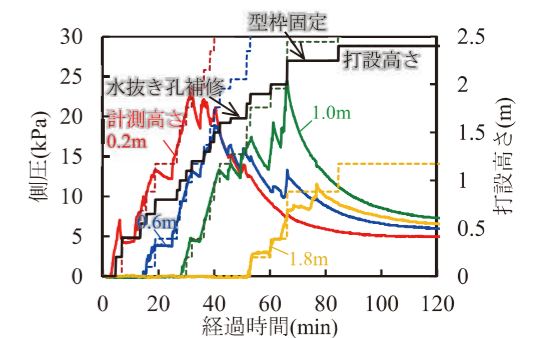


図11 コンクリート打設時の側圧の時刻歴

図11にコンクリート打設中に埋設型枠に作用した側圧の時刻歴を示す。図中には、各土圧計の設置高さに対応した液圧相当(23.5kN/m²、側圧係数1.0)の側圧設計値を併せて破線で示している。側圧が最も大きくなると想定される最下段の高さ0.2mに設置した土圧計の値に着目すると、打設高さ1.2m程度に達した時点で最大値を計測し、この時の側圧の増加傾向は破線で示した液圧と同等の側圧が作用していることが分かる。また、0.6、1.0mに設置した土圧計から、液圧相当の側圧が作用するのは打設高さが1.5m程度までであり、その後は打設を進めても側圧の増加は見られなかった。この結果から、打設計画は、コンクリート標準示方書⁶⁾に示されている側圧分布を参考に、打設高さ1.5mまでは液圧が作用し、それ以上では側圧が一定になる分布を想定して、各部材は設計を行うことが可能と考えられる。本試験においてセパレータと外型枠固定用金具で計測された引張力の最大値は、それぞれ78N/mm²、86N/mm²で、各々の引張り強さ685N/mm²、768N/mm²よりも十分に小さな値であった。

5. マニュアルの改訂

沈下許容部材と軽量埋設型枠を併用した背面施工法に関して、部材の規格や施工手順、適用範囲、施工時の留意点についてとりまとめ、設計・施工マニュアル¹⁾ならびに積算マニュアル⁶⁾、材料マニュアル⁷⁾の改訂に反映した。

5.1 沈下許容部材の適用範囲

沈下許容部材を用いることで補強盛土と型枠を同時に施工できるが、沈下許容部材は、あくまでも盛土の沈下・圧縮に対して適用可能な部材であり、支持地盤の圧密沈下に対応した部材ではないことに留意されたい。

(1) 沈下許容部材のスライド可能性

沈下許容部材はL形鋼に沿って鉛直方向にスライドすることで、盛土の沈下に追随する機構であるが、L形鋼には型枠のセパレータが溶接固定されている。図12には、セパレータと沈下許容部材の位置関係の一例を示す。セパレータ連結用のリングコネクタは型枠端部から70mm内側に取り付けられているが(図3)、位置関係