

注入工法による地中ボックスカルバートの耐震性向上に関する研究（その2）

－基本施工仕様確立についての実験的研究－

前田建設工業（株）正会員 ○渋谷 武、大川尚哉
 東京電力（株） 正会員 佐藤 博
 日本綜合防水（株）正会員 高橋則雄、鈴木 浩

1. はじめに

筆者達は、地震時に既設地中ボックスカルバートに作用する主要外力である上床版の周面せん断力を低減させる耐震性向上工法の研究を行っている¹⁾。工法は上床版直上の上載土を地上からロッドを用いて高圧水で噴射切削し、非開削で薄厚な免震層を造成するものである。注入速度、注入圧力等免震層造成の基本仕様の確立を目的とした室内注入実験を実施しており、本論文では実験結果と造成された免震層の動的特性について報告する。

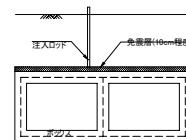


図1 工法概要図

2. 実験概要

(1) 実験条件および使用材料

実験は上床版直上地盤を切削して注入空間を造成した状態を想定して実施した。模擬注入空間^{*1)} 充填状況および免震材配合を表1に示す。この配合は免震材として性能を発揮することがこれまでの研究から分かっている¹⁾。

表1 注入実験ケース（注入孔1使用）

| ケース | 模擬注入空間充填物 | 免震材配合（重量比） |
|-----|---------------|---------------------|
| 1 | なし | |
| 2 | 水 | アスファルト乳剤 100g |
| 3 | ベントナイト泥水 | 早強ポルトランドセメント 7g |
| 4 | ベントナイト泥水+珪砂6号 | ベントナイト水溶液 35% (14g) |

(2) 実験方法

注入実験概要図を図2に示す。注入厚さは、実地盤切削空間を模擬して120mmとした。注入部には上床版を想定したスレート板を敷設し、アクリル板を透して上部から免震材充填状況を観察した。注入速度は20ℓ/分、フロー値は110mm～150mm(80mmシリンダー使用)に設定した。免震材料の製造はアスファルト乳剤と早強ポルトランドセメントを3分間混合攪拌した後にベントナイト水溶液を添加し、さらに3分間混練りする方法であり、免震材料は混練り後30分以内で水槽内注入空間へ圧送した。免震材注入は注入孔1または2を使用して行った。水槽平面中心に設置した注入孔1は免震材の広がりを確認するためのものであり、隅角部の注入孔2は造成径2mの1/4円が造成できることを確認するために設置したものである。

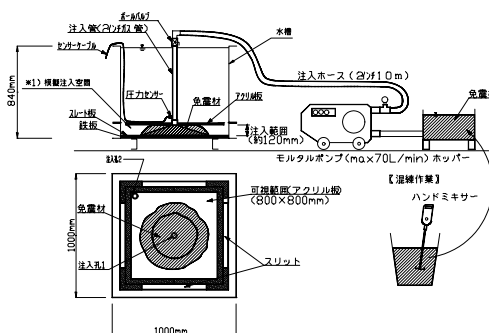


図2 注入実験概要図

注入実験概要図を図2に示す。注入厚さは、実地盤切削空間を模擬して120mmとした。注入部には上床版を想定したスレート板を敷設し、アクリル板を透して上部から免震材充填状況を観察した。注入速度は20ℓ/分、フロー値は110mm～150mm(80mmシリンダー使用)に設定した。免震材料の製造はアスファルト乳剤と早強ポルトランドセメントを3分間混合攪拌した後にベントナイト水溶液を添加し、さらに3分間混練りする方法であり、免震材料は混練り後30分以内で水槽内注入空間へ圧送した。免震材注入は注入孔1または2を使用して行った。水槽平面中心に設置した注入孔1は免震材の広がりを確認するためのものであり、隅角部の注入孔2は造成径2mの1/4円が造成できることを確認するために設置したものである。

3. 実験結果

ケース4について注入後の免震材充填結果を写真1,2に示す。ケース4は、泥水等による注入空間保持および切削土砂微粒子の浮遊など実施工の注入空間に近い状況を模擬している。写真1は水槽を解体してアクリル板を撤去した状態であるが、注入孔を中心とした同心円状の筋が数本みえる。このように注入空間における免震層の造成は、先に充填された免震材を外側へ押し出す形で進行し、同心円状に広がったことがわかる。写真2は造成された免震層を半日後に水槽から取り出し断面を観察している写真である。写真から免震材は半日の養生期間で自立することがわかる。また、珪砂6号は水槽の底に沈殿しており免震材内部に取り込まれておらず、免震材は沈殿した珪砂6号の上で同心円状に広がったことがわかる。実地盤における注入施工時にもアスファルト系免震材内部に土砂等を取り込む可能性は低く、



写真1 No.4注入後状況

キーワード：地中ボックスカルバート、アスファルト系免震材、注入工法、低せん断強度、中空ねじり試験

免震材の動的力学特性であるせん断弾性係数に影響を及ぼすことはない判断される。写真1、2から免震材は空隙なく密実に充填されていることがわかる。同様に全4ケースとも免震材の内部には空隙なく密実な充填がなされた。なお、注入孔2から免震材を注入した結果、免震材が水槽隅角部から他ケースと同様に同心円状に広がり密実な充填ができた。

全てのケースで注入圧力は吐出口で最大 0.05kg/cm^2 であり、注入空間の造成および空間を保持している泥水等の排出を確実に行うことができれば、ほぼ無圧での注入が可能である。また、アスファルト系免震材は、水槽水への希釈がほとんど見られなかった。免震材はベントナイト水溶液を添加して混練りした後 30 秒程度でゲル化し、以後はセメントの水和反応により硬化した。

4. 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験(中空ねじり試験)

上記水槽を用いた注入試験により造成された免震層が免震材としての動的力学特性を有していることを室内試験により確認した。中空ねじり試験条件を表2に示す。材令は 28 日で実施した。中空ねじり試験結果を図3、4に示す。せん断ひずみが 10^{-4} 、 10^{-2} レベルでは、それぞれせん断弾性係数が $\text{Geq}=8\text{MPa}$ ~ 12MPa 、 $\text{Geq}=4\text{MPa}$ 程度であることから低せん断剛性免震材として評価できる¹⁾。また、せん断弾性係数および減衰定数はひずみ依存特性を有していることが分かる。せん断弾性係数の低下は骨格を形成するセメント構造がひずみの増加に伴い破壊したことが主要因であると推測される。注入空間に水分がある場合とない場合でせん断弾性係数に差異が生じているのは含水量の違いに起因していると考えられるが、注入空間の充填物の違いでは差が見られなかった。各ケースともせん断弾性係数は室内供試体結果¹⁾より小さい値となった。 Geq/G_0 および減衰定数 h は各ケースでほぼ同一であり、室内供試体結果ともほぼ一致していた。

5. まとめ

・表1に示す配合のアスファルト系免震材を用いて注入速度 20 ㊦/分 、フロー値 110mm ~ 150mm (80mm シリンダー使用)で水槽を用いた注入実験をおこない免震層が空隙なく密実に造成できたことから、注入空間が切削造成された状態であればこの基本施工仕様で造成径 2m とした実施工への適用は可能であることが確認された。この時、せん断弾性係数および減衰定数はひずみ依存特性を有するが注入空間の充填物に関わらず一致した値を示すと判断される。

・造成された免震層は、中空ねじり試験を実施した結果、免震材としての動的特性を有していた。また、造成された免震層は注入空間の充填物を取り込むことはないので、実施工でも注入空間保持のためのベントナイト泥水や土砂微粒子等が免震層の造成および動的力学特性に与える影響は小さいと考える。



写真2 No.4 注入後断面

表2 繰返し中空ねじりせん断試験条件

| 項目 | 諸元等 |
|-----------------|--|
| 供試体寸法 | 外径 $\phi 100\text{mm}$ 、内径 $\phi 60\text{mm}$ 、高さ 100mm |
| 試験拘束圧 | 0.2MPa |
| 圧密排水条件 | 等方圧密非排水試験(0.5時間) |
| 制御方法 | 応力制御 |
| 繰返し載荷回数 | 11回 |
| 繰返し周波数 | 0.2Hz |
| 計測ひずみ範囲 | $10^{-6} \sim 10^{-1}$ |
| G, h を算出する計測データ | 10波目 |
| 気温 | 20°C |

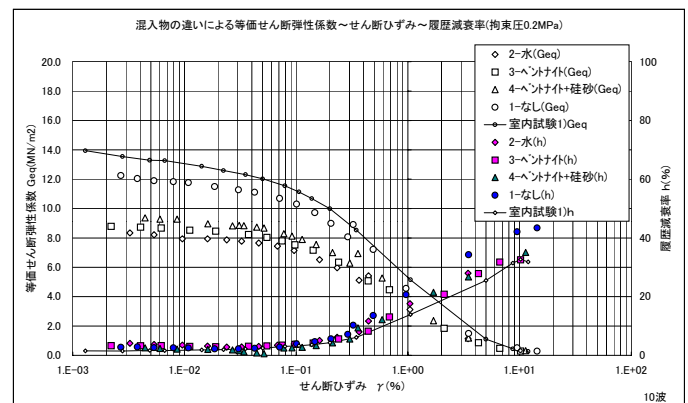


図3 $\text{Geq} \sim \gamma \sim h$ 図

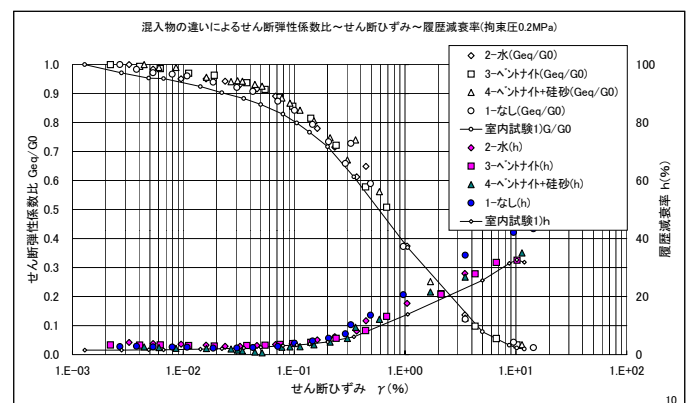


図4 $\text{Geq}/G_0 \sim \gamma \sim h$ 図

参考文献1) 大嶋, 佐藤ほか: 注入工法による地中ボックスカルバートの耐震性向上に関する研究(その1), 土木学会第57回年次学術講演会, 2002