

論文 SRC 構造防音壁の耐力に関する実験的研究

西 恭彦*1・森野 達也*2・野村 敏雄*3・濱田 啓司*4

要旨: H 鋼支柱と RC 構造地覆からなる SRC 構造防音壁の接合部における耐久性の向上を目的とした改良構造を考案し、設計法の妥当性検証のため、実物大模型実験を実施して構造性能を確認した。終局状態の破壊モードは、H 鋼支柱間隔が小さい既往の研究では地覆基部の曲げが先行したが、今回試験した供試体のように支柱間隔が設計で想定している有効幅より十分に大きい場合は H 鋼支柱の曲げとそれに続く RC 構造地覆の押し抜きせん断が先行することがわかった。H 鋼支柱は地覆上面の断面力を照査し、RC 構造地覆は H 鋼支柱から伝達される断面力が 45° の範囲で分布するものとした設計は妥当であると考えられる。

キーワード: SRC 構造, 構造実験, 定着部, 防音壁

1. はじめに

整備新幹線で騒音対策のために設置される防音壁の構造としては、**図-1** に示すような一定間隔で建て込んだ H 鋼間にプレキャスト PC 版を抱き込む H 鋼支柱式防音壁を用いることが一般的である¹⁾。H 鋼支柱式防音壁では、H 鋼支柱下端のベースプレートのスラブに埋め込んだボルトで固定するタイプが用いられてきたが、施工の合理化などを目的に下部を場所打ち RC 構造地覆とし、その中に H 鋼を一体化させて定着する SRC 構造防音壁が開発されている²⁾。

今回、従来型 SRC 構造防音壁の構造合理化および施工性改善、H 鋼と RC 構造地覆の接合部における耐久性の向上を目的とした改良構造を考案した。その設計法の妥当性検証のため、実物大模型実験を実施し、SRC 構造防音壁の構造性能を確認した。

2. 改良型 SRC 構造防音壁の概要

従来型 SRC 構造防音壁の定着部の例を**図-2** に示す。

厚さ 200 mm の場所打ち RC 構造地覆に、150H の H 鋼支柱を定着する場合、線路内側は H 鋼支柱を厚さ 50 mm のコンクリートで被覆しているが、線路外側は H 鋼支柱のフランジを露出させている。定着部の補強鉄筋としては、H 鋼を貫通する水平補強鉄筋と線路内側の被覆部分の抜け出し防止鉄筋が配置されている。抜け出し防止鉄筋は、中性化の検討により必要となるかぶり(50 mm)を確保することが困難なため、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用している。この構造では、1) H 鋼支柱のかぶり部分に、H 鋼に沿ってひび割れが生じやすく誘発目地等の対策が必要になる、2) H 鋼支柱のかぶり部分内に抜け出し防止

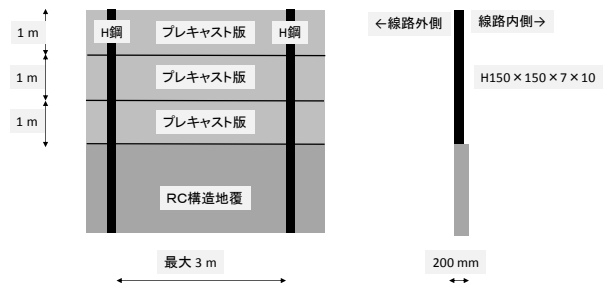


図-1 H 鋼支柱式防音壁の例

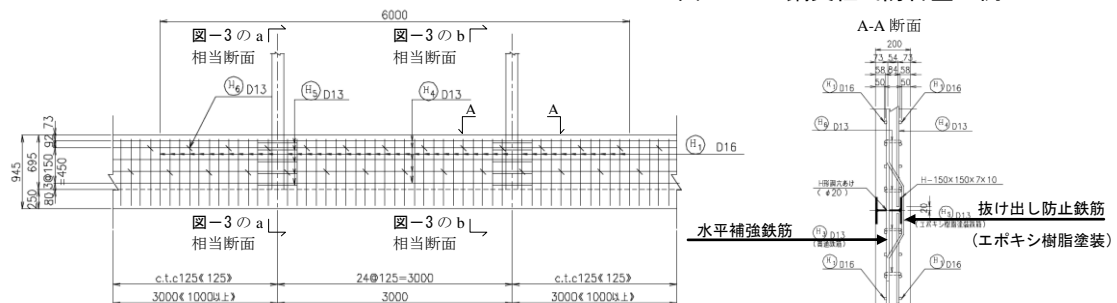


図-2 SRC 構造防音壁定着部（従来型）の例

*1 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 設計技術部 設計技術第一課 工修 (正会員)

*2 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 九州新幹線建設局 技術管理課 工修

*3 (株) 大林組 技術研究所 構造技術研究部 主任研究員 工博

*4 (株) 大林組 生産技術本部 橋梁技術部 副課長 工修

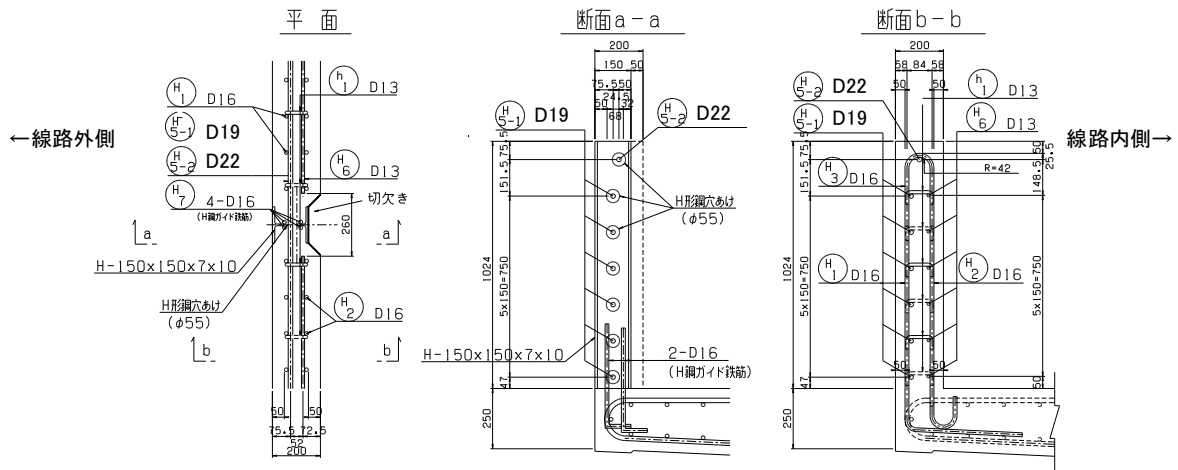


図-3 SRC 構造防音壁定着部 (改良型)

鉄筋としてエポキシ樹脂塗装鉄筋を配置する必要がある、という課題があった。

改良型 SRC 構造防音壁を、図-3 に示す。改良のポイントは、1) H 鋼支柱のかぶり 50mm 部分のコンクリートを省略し、線路外側内側とも H 鋼フランジを露出させる、2) かぶり部コンクリートの省略により抜け出し防止鉄筋 (エポキシ樹脂鉄筋) がなくなるため、その代用として水平補強鉄筋を従来型の D16 から D19 へ強化する、である。弾性 FEM 解析により RC 構造地覆上部の荷重負担が大きいことが想定されたため、最上段の水平補強鉄筋は D22 とした。また、水平補強鉄筋の配筋作業時の施工性および孔あき鋼板ジベルとしての作用を期待して、H 鋼ウェブの貫通孔の径を 55 mm とした。

3. 実験方法

3.1 設計概要と実験ケース

SRC 構造防音壁の設計では、H 鋼支柱は、RC 構造地覆天端を固定点とする片持ち梁として設計し、RC 構造地覆は天端の H 鋼位置から 45° 分布を有効幅とする片持ち梁として設計している。

設計では、線路外側からの荷重(正荷重)、線路内側からの荷重(負荷重)の両方を考慮しているが、支柱定着部の形状の非対称性は考慮していないため、表-1 に示す 2 ケースの載荷を行うこととした。

3.2 供試体概要

実験においては、レール面からの高さ 3.5 m (スラブ面からの高さ 3874 mm, RC 地覆の高さ 1024 mm)、の防音壁を模擬した供試体とした。防音壁の一部を線路方向に H 鋼支柱間隔である 3 m 分取り出した、RC 地覆および H 鋼支柱から構成される図-4 に示すような実物大供試体を使用した。プレキャスト PC 版は H 鋼支柱や RC 構造地覆と一体となって荷重を負担する部材ではないため省略した。

表-1 実験ケース

ケース 1	正荷重 (線路外側から載荷)
ケース 2	負荷重 (線路内側から載荷)

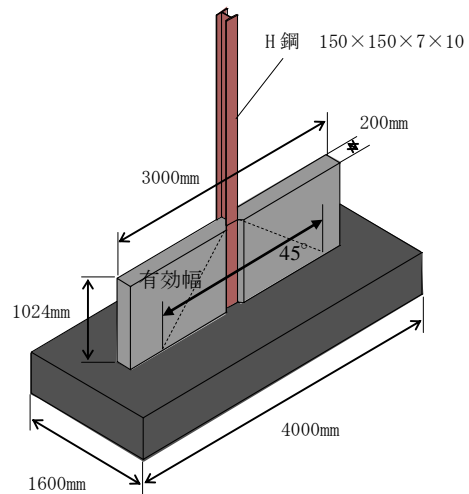


図-4 供試体構造

配筋の概要は図-3 のとおりである。H 鋼を貫通する水平補強鉄筋および H 鋼下端に施工時の H 鋼仮固定用としてガイド鉄筋を配置しているが、H 鋼とは溶接などによる結合はしていない。

材料の仕様は、実構造物と同等のものとし、場所打ち RC 構造地覆のコンクリートは 24-12-20N, 鉄筋は SD345, 支柱の H 鋼は SS490 で設計した。なお、供試体の H 鋼は SN490 で代用している。材料の試験結果を表-2, 表-3, 表-4 に示す。

3.3 荷重載荷方法と計測

H 鋼支柱および RC 構造地覆の設計終局荷重は、最大の風荷重 (特性値 : 3.0 kN/m²) に荷重係数 1.2 を考慮したものである。想定される事象と荷重の一覧および比較となる設計値を表-5 に示す。

表-2 RC 構造地覆コンクリート材料試験結果

材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	備考
28	34.1	-	-	-	
41	35.3	33.3	29.9	2.74	ケース 1
48	35.3	33.4	29.2	2.87	ケース 2
	標準養生		現場封緘養生		

表-3 RC 構造地覆鉄筋 材料試験結果

鉄筋径	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
D 13	384	559	194
D 16	361	542	194
D 19	372	548	200
D 22	366	546	196

表-4 支柱 H 鋼 材料試験結果

H 鋼	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
150×150×10×7	395	518	212

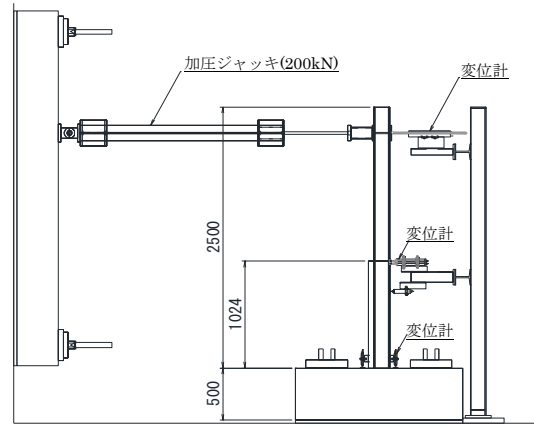


図-5 載荷装置概要

表-5 想定される事象と荷重

事象	水平荷重(kN)		モーメント(kN・m)		備考	
	45° 分布	3 m 全幅	地覆上面(H 鋼)	スラブ上面(RC 地覆)		
試験時・ 実強度	RC 地覆基部ひび割れ	15.1	22.1	—	34.0(49.7)	—
	RC 地覆主鉄筋降伏	57.8	82.9	—	130.1(186.5)	—
	H 鋼支柱降伏	69.6		85.3	—	座屈考慮 ³⁾
	RC 地覆曲げ破壊	71.9	103.6	—	161.7(233.1)	—
	H 鋼支柱全塑性	78.3		96.0	—	—
設計時	最大風荷重(特性値)	30.4		36.6	68.5	—
	設計終局荷重(荷重係数 1.2)	36.5		43.9	82.2	終局限界状態
	H 鋼支柱設計曲げ耐力	44.9		—	—	座屈考慮 ³⁾
	RC 地覆設計曲げ耐力	53.1	—	—	119.4	—

*) 試験時の RC 地覆については、有効幅を 45° 分布と考えた場合の荷重と、3 m 全幅と考えた荷重を併記している。

載荷は、図-5 に示す装置により静的に行った。実際の防音壁支柱ではプレキャスト PC 版から分布荷重が作用するが、試験では荷重の重心付近に集中荷重で作用させた。

載荷パターンは、RC 構造地覆上面での H 鋼支柱のモーメントが、風荷重最大時の特性値に相当する荷重まで載荷した後に一度除荷し、再度載荷した。

RC 構造地覆内の主要な計測項目および位置を図-6 に示す。また、H 鋼支柱の変位は図-5 に示す位置で計測した。鉄筋ひずみは、鉄筋両面に貼り付けたひずみゲージを平均して軸ひずみを計測した。

4. 実験結果

4.1 破壊性状および耐力

図-7 に各ケースの荷重・変位関係、表-6 に主な事

象の一覧を示す。また、図-8 に各ケースのひび割れ図を示す。

RC 構造地覆基部のスラブとの境界部の引張側に水平に初期ひび割れが発生したのに続き、RC 構造地覆上面で H 鋼支柱フランジ内面の支圧力による押し抜きせん断ひび割れが生じた。H 鋼支柱、RC 構造地覆基部の主鉄筋が降伏すると、荷重変位曲線の傾きが大きく変化した。その後、押し抜きせん断ひび割れが大きくなると、H 鋼支柱を貫通している水平補強鉄筋が降伏した。さらに載荷を続けたところ、荷重は漸増しながら H 鋼の曲げ変形に伴う水平変位が増加し、最終的には水平荷重の低下が確認できなかったが、試験装置の変形量の限界により載荷を中止した。

耐力はケース 2の方がやや小さい。これは、H 鋼支柱の位置が線路外側よりに配置されていて、図-9 に示す

押し抜きせん断に抵抗する RC 地覆厚さが小さいためと考えられる。ケース 1、ケース 2 の破壊性状はおおむね同様であることから、以下ケース 2 について述べる。

4.2 SRC 防音壁の各部位の挙動

(1) H 鋼支柱の曲げ

ケース 2 の H 鋼支柱の圧縮側フランジのひずみおよび変位量の分布を図-10 に示す。曲げ変形の固定端は、載荷初期は RC 構造地覆上面付近であるが、最大荷重時には RC 構造地覆上面から 300 mm 下がった点付近になっている。ひずみ分布でも、圧縮ひずみが大きいのは、載荷初期は RC 地覆上面から 0~150 mm 下がった範囲だが、荷重が 70 kN 付近に達して以降は RC 地覆上面から 150 mm 下がった点付近に圧縮のピークが生じて、降伏ひずみに達している。

従来型構造の載荷試験結果²⁾では、供試体の RC 地覆幅が小さかったため RC 地覆の曲げ破壊となったが、H 鋼との接合部においては押し抜きせん断的なひび割れが生じており、150H の H 鋼支柱による押し抜きせん断ひび割れが RC 地覆の上面から 150 mm 程度の範囲で観測された。今回の試験でも押し抜きせん断ひび割れの進展にあわせて RC 構造地覆上部の拘束度が小さくなったと考えられ、最終的に曲げ圧縮が最大となる点が RC 構造地覆の内部となったものと考えられる。

(2) H 鋼支柱による RC 地覆上部の押し抜きせん断

図-11 に地覆上面の変位分布を示す。地覆は H 鋼支柱から伝達された水平力によって変形しているため、中央に配置された H 鋼支柱付近の変位が大きくなっている。水平荷重が 70 kN を超えると、地覆中央だけが大きく変位して H 鋼支柱と RC 地覆との変位差が大きくなっている。

H 鋼支柱を貫通している最上段の水平補強鉄筋の荷重-ひずみ関係を図-12 に示す。荷重 70 kN 付近で最上

段の水平補強鉄筋のひずみが急増している。押し抜きせん断ひび割れの進展と H 鋼支柱の降伏によって、H 鋼支柱の変位が急増したために、それに追従して水平補強鉄

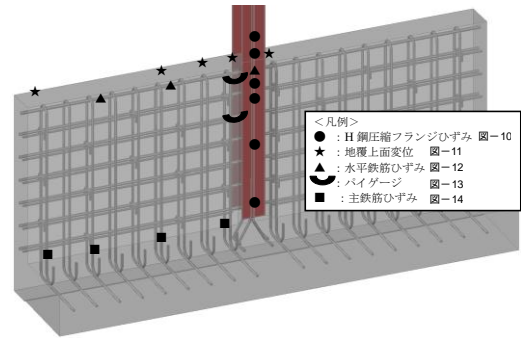


図-6 主要計測項目および位置

表-6 各ケースの発生事象と水平力(kN)

	ケース 1	ケース 2
RC 地覆基部ひび割れ	17.94	17.94
H 鋼支柱降伏	75.25	69.04
RC 地覆主鉄筋降伏	79.52	69.04
RC 地覆水平補強鉄筋降伏	82.79	69.04

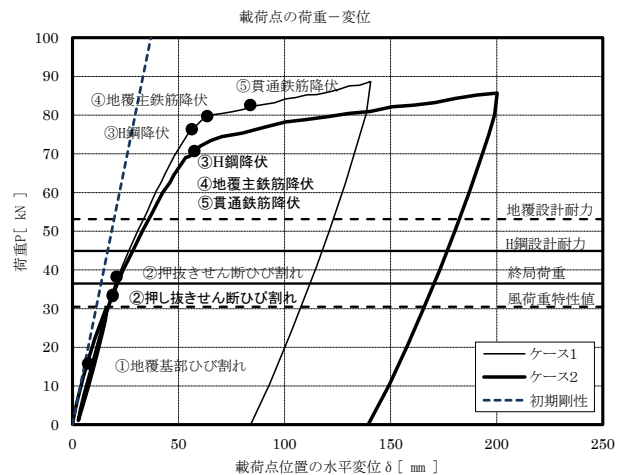
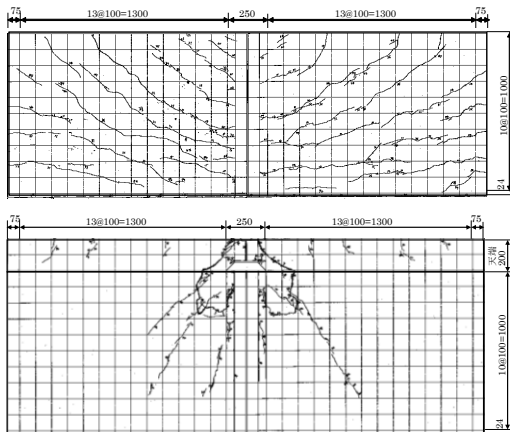
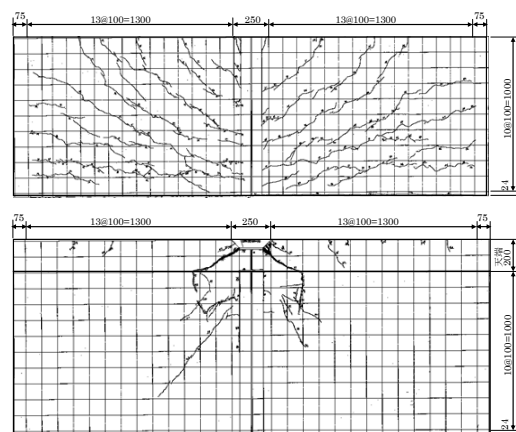


図-7 各ケースの荷重変位関係



ケース 1 (上：線路外側，H 鋼支柱引張側・
下：線路内側，H 鋼支柱圧縮側)



ケース 2 (上：線路内側，H 鋼支柱引張側・
下：線路外側，H 鋼支柱圧縮側)

図-8 各ケースのひび割れ発生状況

筋のひずみが急増し、最終的には降伏に至ったと考えられる。H鋼支柱の降伏以前の水平補強鉄筋のひずみは降伏ひずみに比べ小さいため、設計荷重の範囲であれば、最上段の水平補強鉄筋の負担する荷重は小さいと考えられる。

図-8ではRC地覆上部にはH鋼支柱からの水平力による押し抜きせん断ひび割れが観察されている。押し抜きせん断ひび割れが荷重40kN付近で生じた後は、水平補強鉄筋が力を負担することで耐力を保持している。

図-13に水平荷重とRC地覆とH鋼支柱との目開き量との関係を示す。目開き量は、図-6に示す位置でπゲージにより計測しており、地覆とH鋼支柱との地覆長手方向の変位差およびH鋼支柱の抜け出しによる変位差を含んだ量である。設計荷重の範囲では、目開き量は0.3

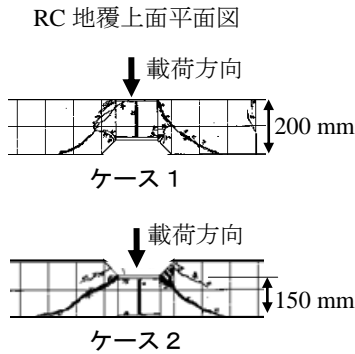


図-9 押し抜きせん断に抵抗する地覆厚さ

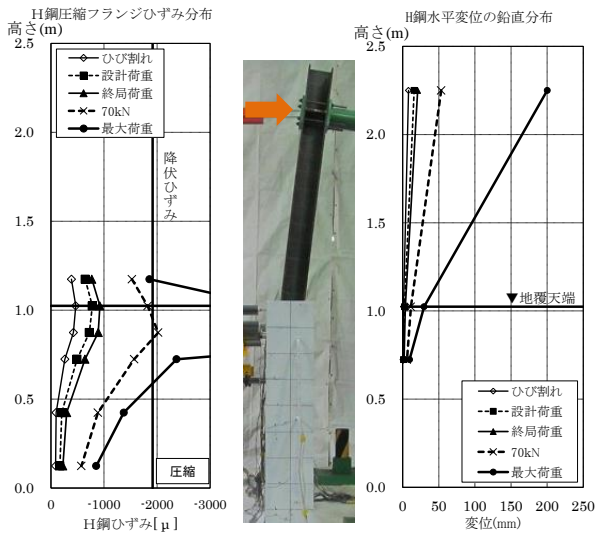


図-10 ケース2のH鋼ひずみ、変位の分布

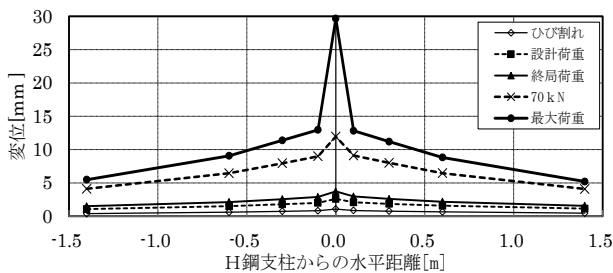


図-11 RC地覆上面の荷重方向への変位分布

mm程度で弾性的な挙動を示すため、H鋼支柱の異常な抜け出しは生じていないと考えられる。

(3) RC地覆基部の曲げ

図-14にRC地覆基部の主鉄筋の荷重-ひずみ関係を示す。地覆基部の曲げひび割れ発生までは、主鉄筋のひずみにばらつきは見られないが、ひび割れ後はH鋼支柱に近い主鉄筋ほどひずみは大きく、H鋼支柱からの距離に応じてほぼ線形的にひずみが減少している。H鋼に最も近い主鉄筋は69kNで降伏したが、圧縮側コンクリートの圧壊には至らなかった。降伏荷重は表-5に示す支

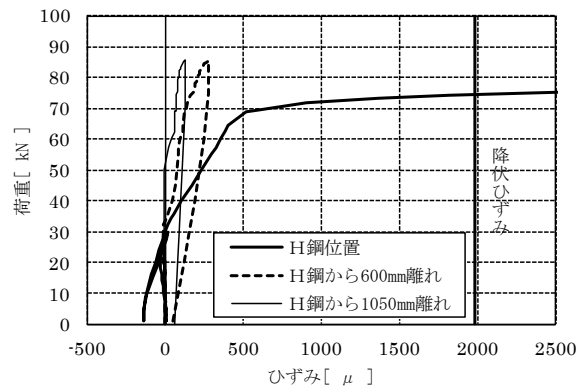


図-12 最上段の水平補強鉄筋の荷重-ひずみ関係

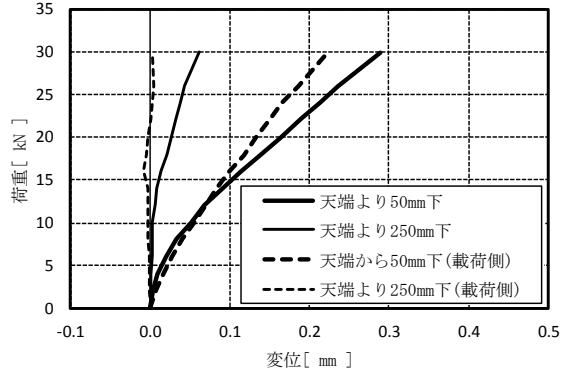


図-13 H鋼支柱とRC地覆の目開き量

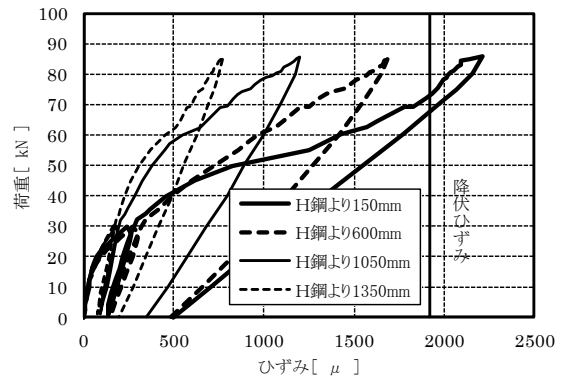


図-14 RC地覆主鉄筋の荷重・ひずみ関係

柱から 45° 分布を有効幅と考えた計算値 58 kN と 3000 mm の全幅有効と考えた計算値 83 kN との中間的な値である。図-8 のひび割れ図を見てもわかるように、地覆基部で一様曲げとはなっていないが、設計で想定した有効幅以外の範囲も抵抗断面となっていると考えられる。

従来型構造の荷重試験結果では荷重終了時には RC 地覆基部のコンクリートが圧壊していたが、今回の荷重試験では圧縮側のコンクリートの圧壊には至らなかった。これは、供試体としてモデル化した RC 地覆が、従来型の荷重試験では試験体の高さ 1505 mm に対して延長 1500 mm で 45° 分布と想定した有効幅の約半分であるのに対して、今回の供試体は高さ 1024 mm、延長 3000 mm であり、H 鋼支柱から伝達された曲げモーメントが 45° 分布を想定した有効幅よりも広範囲で曲げに抵抗したために、基部の曲げ破壊が先行せず、コンクリートの圧壊には至らなかったと考えられる。

4.3 SRC 防音壁の構造性能と設計手法の検証

今回の荷重試験と、従来型配筋の荷重試験結果を比較すると、実構造物においては、防音壁支柱間隔が十分に大きければ今回の試験のように H 鋼支柱の曲げ変形とそれに引き続く RC 地覆上部の押し抜きせん断ひび割れが先行し、支柱間隔が小さければ RC 地覆基部の曲げ変形が先行すると考えられる。

また、H 鋼降伏後の押し抜きせん断ひび割れの進展に伴って、H 鋼支柱の固定端位置が、設計断面である RC 構造地覆上面よりも下部の位置になっている。一方で、荷重試験時の H 鋼降伏時に計測された水平荷重 69.0 kN は、実強度で算出した地覆上面の H 鋼降伏時の計算上の水平荷重 69.6 kN とはほぼ同等である。よって、地覆上面位置での曲げに対して、H 鋼支柱が座屈を考慮した設計曲げ耐力以下となるように設計すれば、十分安全な設計であるといえる。

H 鋼支柱による RC 構造地覆の押し抜きに関しては、H 鋼支柱の曲げ降伏後にコンクリートのひび割れや鉄筋のひずみが進展していることから、H 鋼支柱降伏以下の荷重に対しては、供試体の補強仕様は十分な余裕があるといえる。

以上より、現在想定している範囲の荷重レベルに対して、地覆上面での H 鋼支柱の曲げと地覆基部の曲げに対して検討すれば、十分に安全な設計になると考えられる。

なお、近年は列車の高速化に伴う活荷重の増加や防音対策の強化による壁高の増加の傾向がある。これに伴って、活荷重や地震荷重による動的影響により、防音壁支柱に従来の想定を上回る荷重が作用する可能性が指摘されている^{4),5)}。こうした想定外の荷重に対してのリタンダンシーとして、H 鋼支柱の曲げ降伏、RC 地覆主鉄筋の曲げ降伏、RC 地覆上部の水平補強鉄筋の降伏が生じ

るような変位に対しても、降伏荷重程度を保持する変形性能があることがのぞましい。SRC 構造防音壁は、RC 構造地覆基部の主鉄筋、または、H 鋼支柱を貫通する水平補強鉄筋が降伏してエネルギーを吸収することにより変形性能をもつものと考えられる。

5. まとめ

本研究より以下の結論を得た。

- (1) 今回試験をした H 鋼支柱式 SRC 防音壁は、設計荷重に対して RC 地覆からの H 鋼支柱の抜け出し破壊は生じず、十分な耐力を有している。
- (2) 終局状態の破壊モードは、RC 構造地覆の曲げ破壊、RC 構造地覆の押し抜きせん断破壊、H 鋼支柱の曲げ破壊先行などが考えられるが、今回の供試体で模擬したように地覆の曲げ耐力に十分な余裕があり、H 鋼支柱間隔が設計で想定している有効幅より十分に大きい場合は、H 鋼支柱の曲げとそれに引き続く RC 構造地覆の押し抜きせん断が先行すると考えられる。
- (3) SRC 防音壁全体としては、RC 地覆の最上段の水平補強筋、RC 地覆基部の主鉄筋が降伏することにより、変形性能を発揮すると考えられる。
- (4) RC 構造地覆の設計は、H 鋼支柱から伝達される断面力が 45° の範囲で分布するものとして基部の断面力を照査すればよい。実際には H 鋼支柱の間隔が十分に長ければ、45° 以上の範囲で分散すると考えられる。
- (5) 押し抜きせん断ひび割れが進展すると、H 鋼支柱の曲げ変形の起点は RC 地覆上端よりも下部へ移行する。

参考文献

- 1) 西恭彦：防音壁の設計，日本鉄道施設協会誌，Vol.44，No.2，pp.129-132，2006
- 2) 新山純一，岡康博，寺澤正人，北倫彦：SRC 防音壁構造の曲げ挙動に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1081-1086，2000
- 3) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，丸善，pp.141-148，2009
- 4) 徳永宗正，曾我部正道，後藤恵一，山東徹生，徳富恭彦：鉄道高架橋上防音壁の動的応答特性の評価，鉄道工学シンポジウム論文集，No.16，pp.141-148，2012.7
- 5) 徳永宗正，曾我部正道，浅沼潔，松本光矢，山東徹生，徳富恭彦：鉄道高架橋上の防音壁の地震時安全性の評価，鉄道工学シンポジウム論文集，No.17，pp.156-163，2013.7