

外装パネルの振動試験

中川 恭次 金子 正孝
角田 智彦

Vibration Tests of Precast Curtain Walls

Kyoji Nakagawa Masataka Kaneko
Tomohiko Tsunoda

Abstract

The precast curtain walls on which the authors conducted vibration tests were G.R.C. panels, P.C. panels and G.C. (gas concrete) panels. Durabilities and methods of fitting were required to be taken into consideration for cases of fitting these panels on frame structures of overhead railway lines. For the present paper, the authors set up the panels on a steel model of two stories and conducted the following tests. (1) Fatigue tests of panels by V-15 type vibrator*1. This vibrator was installed at the center of a panel and vibrational force was applied in the vertical direction. (2) Forced vibration tests of the two-storied steel model by BCS-A-200 type vibrator*2. (3) Free vibration tests of panels by manual power. By means of these tests, the authors studied the contribution of the panel to the rigidity of the frame, the merits and demerits of rubber pads used on the panels, and large deformation problems related to panels and their attachment parts.

概 要

この振動試験は、新幹線の高架下建物に P. C. 系の外装パネルを使用した場合を想定して、列車通過の際の振動に対する長期にわたるパネルの耐久性と取り付け方法の問題点を把握し、その対策を検討したものである。試験は、(i) G.R.C. パネル、(ii) P.C. パネル、(iii) 発泡コンクリートパネルの3種の外装パネルについて実施した。試験内容は、次の3項目に大きく分けられる。(1)外装パネル中央部に小型越振機：V-15*1を取り付け、面外方向に一定加速度を与える連続加振による疲労試験。(2)疲労試験前後のパネルのフレーム剛性への影響、パネル取り付け部の防振ゴムの有無による得失、大変形時のパネルとその取り付け部の問題点を把握するための、建研型同期式起振機：BCS-A-200型*2による強制振動試験。(3)(1)および(2)の各試験ごとのパネルの剛性変化を見るための自由振動試験。本報告は、以上の振動試験から頻りに繰返し振動を受ける外装パネルの取り付け方法について考察を行ったものである。

1. まえがき

外装パネルは、P.C. (Precast Concrete) 系のものと金属系のものに大別される。P.C. 系外装パネルは、一般に金属系のものに比べて重量が大きく剛性も高い。このような外装パネルが、列車振動による繰り返し振動を頻りに受けた場合、パネルの取り付け部およびパネル自体の耐久性が問われる。取り付け部においてはパネルに埋め込まれた、取り付け用アンカーボルトの引き抜き、切断破壊、ボルト・ナット間のゆるみ、取り付け用アングルの開き、ライナーの鉛直圧等が問題となり、パネルに

ついては亀裂の発生、打込みタイルの剝離、剝落が問題となる。本報告では、これらの問題点に着目して実施した P.C. 系外装パネルの振動試験について述べる。

2. 試験体の種別

この振動試験では、材料の物性、材質、養生方法が異なる、(i) G.R.C. パネル、(ii) P.C. パネル、(iii) 発泡コンクリートパネルの3種のパネルを対象とし、各パネルについて取り付け部に防振ゴムを使用したものと使用しないもの各1体ずつ、合計6体について試験を実施した。各パネルの諸定数を表-1に示す。

注 *1 V-15 最大起振力：0.74 ton, 加振モーメント：0~15 kg・cm 連続可変, 許容回転数範囲：3 Hz~35 Hz
*2 BCS-A-200 最大起振力：3.0 ton, 加振モーメント：2~200 kg・m, 許容回転数範囲：0.2 Hz~20 Hz 3段変速

試験体名称	形状(mm) W×H×D(d)	重量 (ton)	比重	ヤング係数 (kg/cm ²)	圧縮強度 (kg/cm ²)	備考
G.R.C. パネル	2000×3885×150 (20)	1.07	1.9	1.4×10 ⁵	300~350	ガラス繊維セメント板40℃蒸気養生
P.C. パネル	2000×3885×200 (90)	2.07	1.75	1.9×10 ⁵	378	昆内養生
発泡コンクリートパネル	2000×3885×200 (100)	1.11	1.1	0.53×10 ⁵	130	オートクレープ養生

(D: リブ部, d: リブ部以外の板厚)

表-1 外装パネルの物性

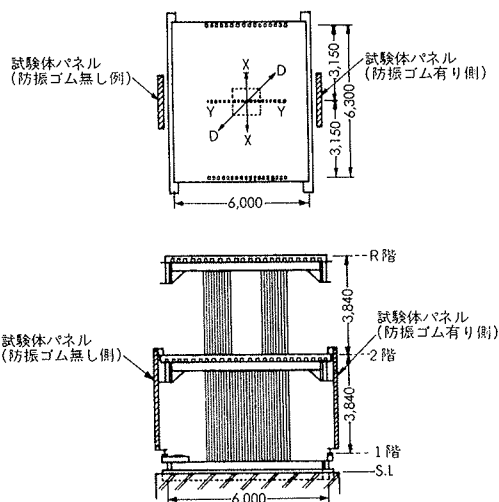


図-1 外装材耐震試験装置

3. 試験体の支持方法

外装パネルを取り付けた装置(外装材耐震試験装置)の概略図を図-1に示す¹⁾。以後この装置をフレームと呼び試験体をパネルと呼ぶ。パネルとフレームとの取り付け方法は、防振ゴムを介して取り付け用アングル(等辺山形鋼)に支持させたものと防振ゴムを使用せずに直接取り付け用アングルに支持した2通りがある。防振ゴム有り側パネルの支持方法は各パネルとも統一して図-2のようにした。防振ゴム無し側パネルについては面内方向の変形に対して支持方法を各パネルタイプごとに異

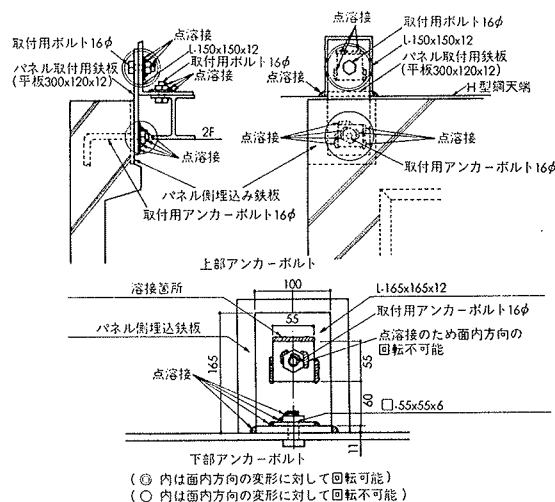


図-3 G.R.C. パネルの取り付け方法

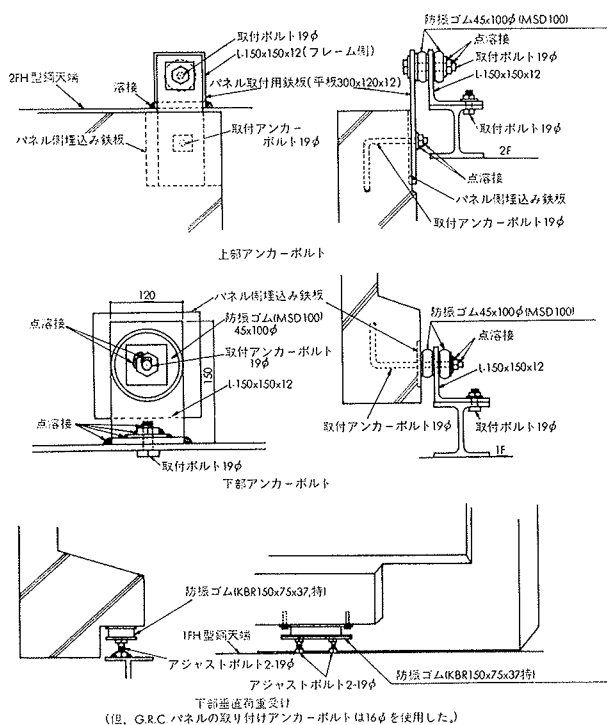


図-2 防振ゴム有り側パネルの取り付け方法

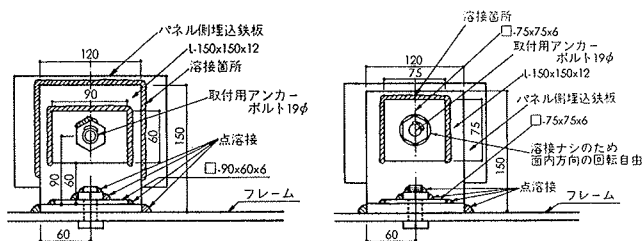


図-4 P.C. パネル下部アングルボルトの取り付け方法

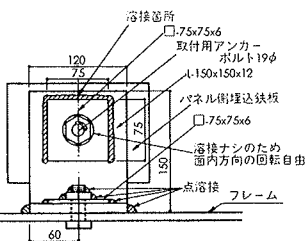


図-5 発泡コンクリートパネル下部アングルボルトの取り付け方法

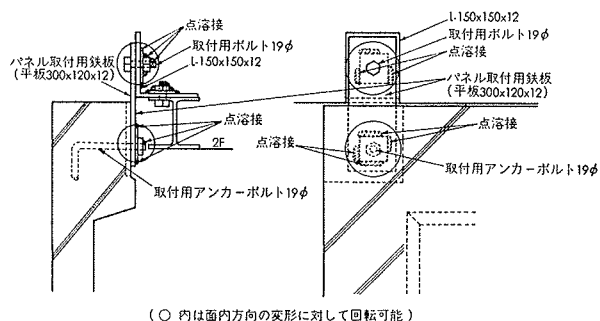


図-6 P.C. パネル, 発泡コンクリートパネルの上部アングルボルトの取り付け方法

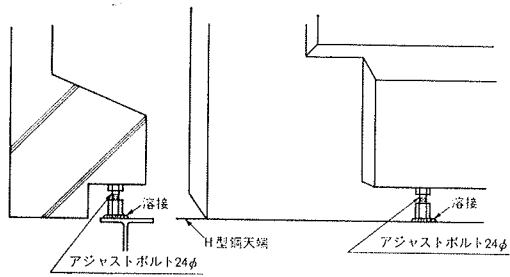


図-7 防振ゴム無し側パネルの下部垂直荷重受けの取り付け方法

なる形式とした。G. R. C. パネルについては図-3のように上部、下部、ともに取り付け用アングル、座金、ナット、ボルトを溶接し、すべて固定状態とした。次にP.C. パネルの取り付け方法は図-4のように、パネル下部はパネル側埋め込み鉄板と取り付け用アングルが三辺溶接され完全固定である。上部2カ所は図-6に示す如く、面内方向の回転に対して自由である。最後に発泡コンクリートパネルについては図-5の下部取り付け図のように、ボルトの回転に対して自由で、上部についても同様であり、4点ともに回転自由とした。防振ゴム無し側パネルの垂直荷重受け部の支持方法を図-7に示す。

4. 試験項目

4.1. 自由振動試験

この試験の目的は、パネルの固有振動数、減衰定数を求め、パネルと取り付け部を含めて剛性が疲労試験、強制振動試験の前後で変化するか否かを確認することにある。試験はフレームに取り付けたパネルの中央部を面外方向に人力で押し、瞬間的にその力を解除する方法を取り、パネルの自由振動減衰を測定した。

4.2. 疲労試験

この試験の目的は、パネルおよび同パネル取り付け部の連続振動による剛性の変化、亀裂の発生、打込みタイルの剝落等を調査し、列車振動に対する耐久性を評価することにある。試験は図-8のように、パネル中央部に角材を介して小型起振機 V-15 を取り付け、面外方向に一定加速度を与える連続加振方法を採用した。各パネルの加振加速度値、繰り返し回数は表-2の通りとし

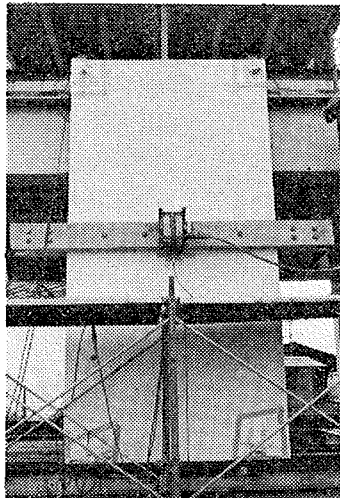


図-8 疲労試験の実施状況

た。この加振加速度の制御は次のように行った。小型起振機によってパネルを連続加振している間に、パネル上の制御点の加速度が加振加速度に対して±10

パネル名称	加振加速度 (gal)	繰り返し回数 (回)
G. R. C.	300	1,000,000
P. C.	500	1,000,000
発泡コンクリート	500	1,000,000

表-2 加振加速度と繰り返し回数

%以上の変動を起こした時に異常発生警報器(簡易ベル)が作動するようにした。又、表-2の繰り返し回数は現実にはそぐわないものであるかも知れないが、起振機の耐久性、実施期間等の試験企画上やむを得ず100万回とした。その代り加振加速度レベルを実状の約3倍とし、パネルの1次固有振動数付近で定常加振することにより、大変形を与える等厳しい条件を付加することにした。尚、この疲労試験は、防振ゴム無し側パネルのみ実施した。

4.3. 強制振動試験

この試験の目的は、フレームに取り付けたパネルの疲労試験前後の剛性変化、取り付け部の防振ゴムの有無による得失を評価することであり、更に試験の最終ケースとして、大変形試験を実施するためのものである。試験は図-1のフレームのR階中央に建研型同期式起振機:BCS-A-200を固定し、パネルの面外方向(Y)、面内方向(X)に加振する方法をとった。以上の試験は、表-3のフローに従って実施した。



表-3 外装パネルの試験順序

パネル名称	試験項目	疲労試験前	同試験完了後	大変形試験後
		(NO. ④前)	(NO. ④後-1)	(NO. ⑨-3後)
G.R.C. パネル	固有振動数 (Hz)	12.33	11.86	5.33
	減衰定数 (%)	2.69	2.96	2.53
P.C. パネル	固有振動数 (Hz)	8.37	7.81	9.48
	減衰定数 (%)	1.80	1.83	2.96
発泡コンクリートパネル	固有振動数 (Hz)	10.94	8.73	10.35
	減衰定数 (%)	1.40	1.61	1.99
備考	—	V-15, 角材 取付状態	V-15, 角材 取付状態	V-15, 角材 ナシ

表-4 自由振動試験結果(防振ゴム無し側パネル)

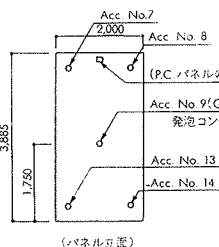


図-9 疲労試験時の測点配置

5. 試験結果と考察

5.1. 自由振動試験結果

各試験の前後にパネルの固有値の変動があるかを確認する試験であり、疲労試験前後および大変形試験後の固有振動数、減衰定数の変化を表-4に示す。表-4によれば各パネルとも、疲労試験前後でも問題となるような固有振動数の低下は

なかった。但、発泡コンクリートパネルの場合、固有振動数がかなり低下しているが、これは疲労試験時のパネル上部の加速度が他のパネルの2倍あったことなどによると考えられる。又、G.R.C. パネルでは大変形試験後の低下が著しいが、これはアンカーボルトの切断(後述)によるものである。

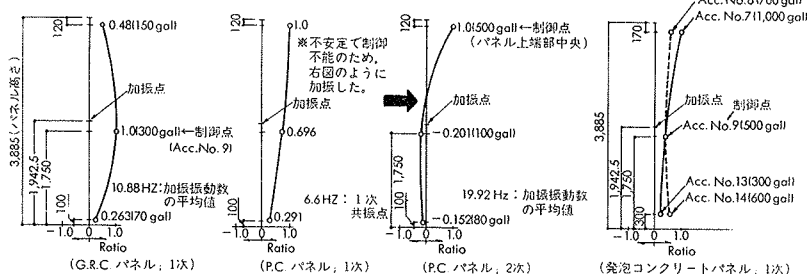


図-10 疲労試験時の振動モード

5.2. 疲労試験結果

疲労試験時の制御点として、G.R.C. パネル、発泡コンクリートパネルについては、パネル中央の加速度測点 Acc. No. 9 を選び、試験中、各々 300 gal±10%、500 gal±10% を満足するように小型起振機：V-15 を制御した。又、P.C. パネルの場合は、パネル上端部中央を選び、500 gal±10% で制御した。この時の各パネルの測点配置および振動モードを、各々図-9、図-10に示す。P.C. パネルの場合、取り付け方法が下部固定、上部面内回転自由のタイプを採用したため、1次振動モードでは図-10に示すようにパネル中央部に最大変位が起こらず、上部が大きく変位するモードを示す。これは上部取り付け部の剛性の影響によっており、 $f_1=6.6\text{ Hz}$ 、 $h_1=0.2\%$ と G.R.C. パネルに較べて、特に減衰が小さい。このため一定力加振をする際の振動数を長時間固定することが技術的に困難であったため、2次共振点 $f_2=19.2\text{ Hz}$ 付近で加振した。又、発泡コンクリートパネルの取り付け方法は、上部下部とも面内回転自由のタイプを採用したため、振動モードは図-10で示すように、上部下部が大きく振動し損れを伴っている。疲労試

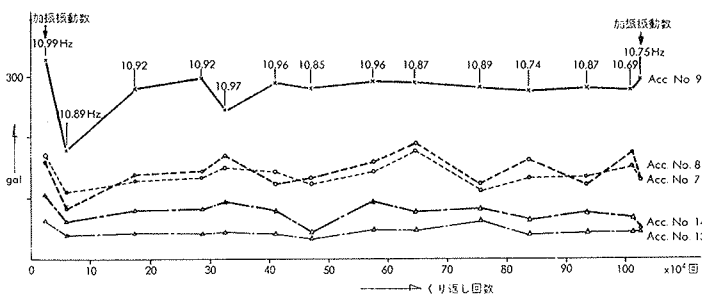


図-11 疲労試験時の加速度推移 (G.R.C. パネル)

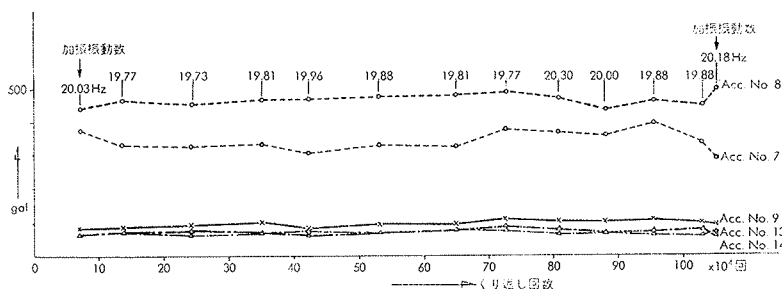


図-12 疲労試験時の加速度推移 (P.C. パネル)

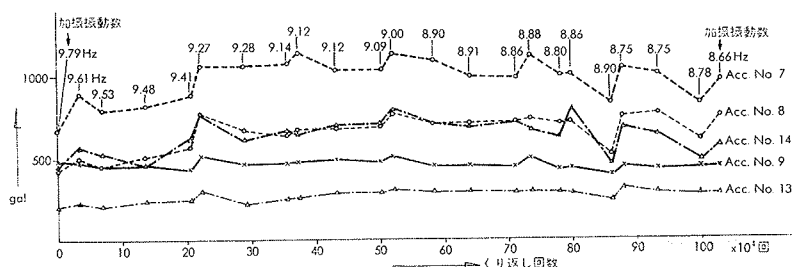


図-13 疲労試験時の加速度推移 (発泡コンクリートパネル)

験中の任意な時期の観測結果をまとめたものを図-11から図-13に示す。発泡コンクリートの場合、図-13に示すように、制御点 Acc. No. 9を除いて全般に加速度振幅が上がる傾向にあり、80万回を経過した頃から多少安定性を欠いている。これは、取り付け部が大きく変位したことによって固定度が低下したことを表わしている。この現象はパネルの取り付け方法から起こったものであり、パネル自体には全く異常がなかった。同パネルの自由振動試験時の固有振動数の低下も同様の原因によるものと考えられる。尚、P.C. パネルについては、外部側に打込みタイルを採用して疲労試験を行ない、試験中、後の剝離の有無を観察したが異常は認められなかった。

5.3. 強制振動試験結果

疲労試験前後のフレーム全体の剛性変化を面外加振(Y)試験の固有値より検討したが、試験前後の差はほとんど認められなかった。大変形試験は、表-3の No. ⑦-1から No. ⑦-2 (面外加振), No.

⑨-1から No. ⑨-3 (面内加振) が相当する。この試験では G.R.C. パネルが上下支持点共に剛結方法をとっていたために、面内の層間大変形を支持点で吸収しきれず、No. ⑨-2~No. ⑨-3で各支持点のボルト部の点溶接が切れ始める。しかし、防振ゴム無し側パネルの上部一本のボルトは溶接強度が充分であったため No. ⑨-3の共振点付近で切断してしまった。この様子を図-14、図-15の共振曲線、振動モードに示す。尚、他の2種のパネルについても、最終的にフレームの限界性能一杯 ($R=1/74$) の加振を行ったが、破壊現象はみられなかった。以上のように上部アンカーボルト部の支持方法が、面内方向の変形に対して回転可能であった P.C. パネル、発泡コンクリートパネルについては破壊現象は無かった。このことは、パネル取り付け用鉄板がパネルに埋め込まれていなかったために、この鉄板が面内変形に対して回転し、層間変位が吸収できたことによる結果である。したがってパネル取り付け用鉄板がパネル内に埋め込まれた場合は、アンカーボルト部に破壊が生じるおそれがある。

6. まとめ

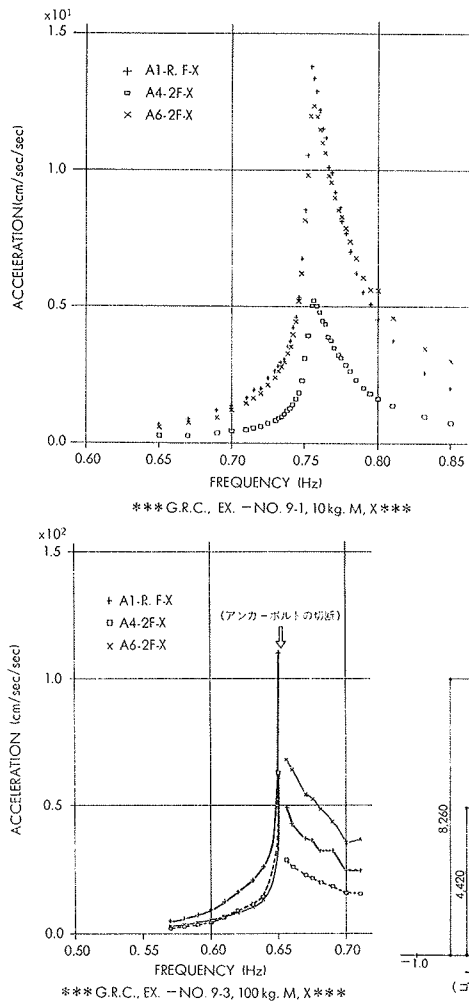


図-14 大変形試験時の共振曲線 (G.R.C., 面内(X)加振)

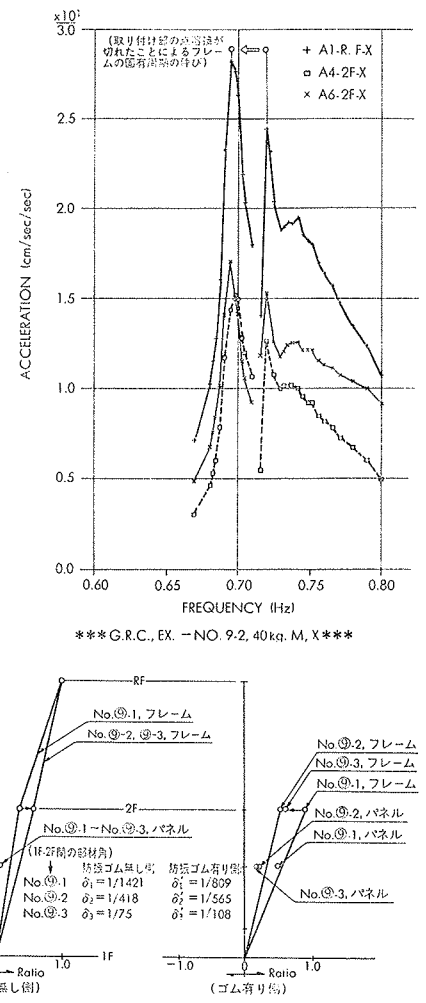


図-15 大変形試験時の振動モード (G.R.C., 面内(X)加振)

この振動試験より、次の成果が得られた。(1)G.R.C. パネル, P.C. パネル, 発泡コンクリートパネルともパネルの破壊はなく、振動による取り付け部の損傷も特にみられなかった。(2)外装パネルの取り付け方法は、充分な検討が必要である。この振動試験で扱った取り付け方法の中では、頻繁にくりかえし振動が有る高架下建物の外装パネルの取り付け方法として、疲労試験時の安定性も考慮して、下部: 完全固定, 上部: 面内変形に対して回転自由なピン支持とする支持方法がよいと思われた。

7. むすび

外装パネルの列車振動に対する耐久性に関する今回の振動試験は以上の如くであるが、この報告が今後の設計施工に関する一資料となれば幸いである。本研究は、国鉄の委託により設けられた「高架下外装パネル振動試験委員会」による研究の一環として、おこなわれたものである。

参考文献

1) 渡辺, 島口, 此上: 実大カーテンウォールの振動実験, 大林組技術研究所報, No. 7, (1973)