

# V-22 電車の継続振動とウケる鉄筋コンクリート高架橋の施工継目に関する研究

東京急行電鉄株式会社

“ “

KK. オリエンタル コンサルタンツ

正会員

宮崎 孝

正会員

広田 穰

正会員

○ 森本 誠治

## 1 予えがき

近年都市交通の過密化に伴ない立体交差化が多増しているが、特に市街地の鉄道に関してはわずかししか線路の移設を許されない場所で工事を行なわなければならないことが多い。したがって現在線の直上で高架橋を施工し、1線または2線同時に切り替えるか、1線分の施工空間を確保して、1線分の高架橋を施工し、1線切替えた後に他の1線の高架橋と継ぎ足し施工して完成後に立体化する方式等がある。後者の施工法の場合に必ず問題となるのが工期が相当に異なった施工継目ができ、しかも継ぎ足しコンクリートの養生中に電車の継続振動とウケることである。そこで本橋は継ぎ足しコンクリートの養生中に電車の継続振動とウケる鉄筋コンクリート鉛直打継目の力学性状を検討し、鉛直継目の設計施工の方法を確立する目的で行なつた試験研究の報告である。

## 2. 高架橋の振動試験

高架橋の振動測定位置は図-1に示す。測定時間は乗客の多い17時から19時の間で行なつた。測定結果の最大動タワミおよび最大振幅を図-2に示す。この試験は鉄筋の付着試験の基礎データと得るために行なつた。

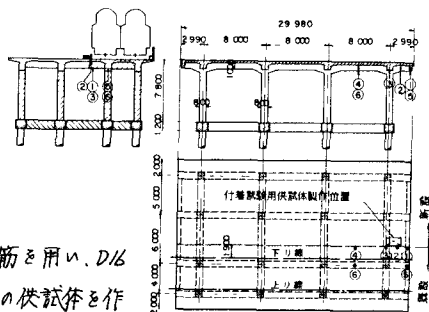


図-1 構造物の形状および測定位置

## 3. 継続振動とウケる鉄筋の付着試験

高架橋施工現場において供試体を製作した。供試体はSD30の鉄筋を用い、D16<sup>mm</sup>を2本、D25<sup>mm</sup>を3本とした。また振動をうけない状態でも同一の供試体を作り、合計10本を製作した。使用したコンクリートは現場で使用している圧縮基準強度240<sup>kg/cm<sup>2</sup></sup>である。供試体は図-1図-3に示すようにコンクリート曲げ試験供試体型枠を使用し、鉄筋と既設高架橋に固定して既設高架橋の振動と伝えようとした。なお供試体の養生は高架橋コンクリートの養生と同一条件にした。試験方法はアムスラー万能試験機(50ton)に1/100<sup>mm</sup>ダイヤルゲージを用いて鉄筋自由端の滑動量と引張荷重を測定した。その結果を図-4に示す。コンクリート強度は直径10<sup>cm</sup>長さ20<sup>cm</sup>のテストピースによって現場と同一条件の養生を11体(圧縮用5体と引張用6体)と標準養生を3体製作し、52日強度を調べた。その平均値は現場養生のもので圧縮強度254<sup>kg/cm<sup>2</sup></sup>、引張強度24<sup>kg/cm<sup>2</sup></sup>、標準養生のもので圧縮強度は324<sup>kg/cm<sup>2</sup></sup>であった。付着強度を検討する場合自由端の滑動量が0.1<sup>mm</sup>のときの付着応力度を基準にするのが妥当と思われるので、そのときの値と比較すると表-1に示すように振動とウケたものと無振動のものに対してD16<sup>mm</sup>で約70%、D25<sup>mm</sup>で約30%増加している。本試験の振動性状は振動数が35~40/s、振幅1.06<sup>mm</sup>、最大タワミ2.56<sup>mm</sup>であった。この振動性状は一般の高架橋と大差ないものと思われる。

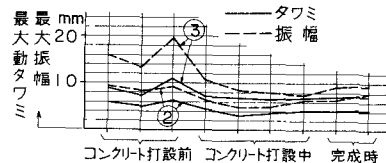


図-2 最大動タワミおよび最大振幅

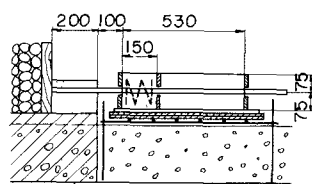


図-3 鉄筋付着用供試体

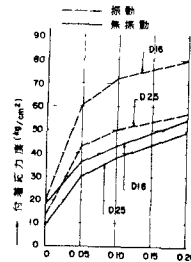


図-4 付着応力度とすべり量の関係図

表-1 平均付着応力度の比較表

|     | ① 無振動                             | ② 振動                              | ③%   |
|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|------|
| D16 | 42.8 <sup>kg/cm<sup>2</sup></sup> | 72.1 <sup>kg/cm<sup>2</sup></sup> | 1.68 |
| D25 | 37.5 <sup>kg/cm<sup>2</sup></sup> | 49.6 <sup>kg/cm<sup>2</sup></sup> | 1.32 |

#### 4. 鉄筋の引張試験

鉄筋は継目部において建築限界の制約などによって各種の加工を行なう。そこでSD30の鉄筋でD19<sup>mm</sup>とD32<sup>mm</sup>の2種類に対して (a) 無加工鉄筋 (b) 熱曲げ加工 (90°) 後再び熱加工で直筋にした鉄筋 (c) 現場状態でガス圧接した鉄筋の3種類に対し各2本合計12本について引張試験を行なった。その結果降伏点についてはガス圧接のD32<sup>mm</sup>筋で約5%低下したか熱曲げ加工による低下はほとんどない。引張強さについても加工状態による低下はほとんどない。

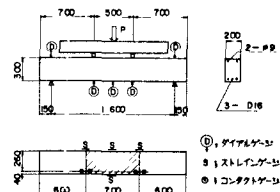


図-5 試験はり概略図

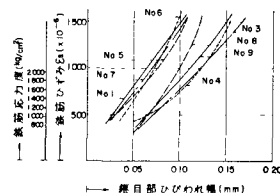


図-6 継目部のひかれ幅と鉄筋の平均耐力

#### 5. 鉄筋コンクリートはりの継目試験

鉛直打継目を設けた鉄筋コンクリートはりの力学的性状を検討するために、現場の打継目を再現するような試験はりを用いて図-5表-2に示すように9種類各2本で合計18体作製して静的破壊試験を行ない打継目の処理方法による耐力を比較するために行なった。この試験はりも継続振動とウケる状態で作製することか望まれたか形状寸法を大きくした関係で高架橋下の地上において作製した。

試験はりの形状寸法の決定には次の2つの条件を考慮した。(1) 鉄筋比をなるべく実際の構造物に近づける ( $P=0.0115$  とした) (2) モーメントスパンの断面耐力度  $R = F_y / f_c = 15$  と仮定したとき継目なしの場合にコンクリートと鉄筋の耐力度  $\sigma_{ca}$  がそれぞれ許容耐力度  $\sigma_{ca} = 80 \text{ kg/cm}^2$   $\sigma_{sa} = 1600 \text{ kg/cm}^2$  となるように複鉄筋として耐力度計算を行うとともに試験の精度をよくするためにコンクリートおよび鉄筋の耐力度が許容値になる載荷荷重は8 ton 破壊荷重は15 ton から22 ton になるように形状寸法を決定した。継目のある場合のコンクリートの打設順序は両側部を打設して29日後に中央部のコンクリートを打設し更に70~95日の間に載荷試験を行なった。試験方法は試験はりの中央に油圧ジャッキを設置して載荷し鉄筋およびコンクリートのひずみとワイヤーストレインゲージによって測定するとともに、タワミは1/100<sup>mm</sup>ダイヤルゲージを用いひびわれ幅については最小目盛か0.05<sup>mm</sup>の測微鏡および1/100<sup>mm</sup>用コンタクトゲージを使用して測定した。なおコンクリートの強度試験は表-3に示す。

試験の結果は図-6~図-8および表-2に示す。図-7から継目部のひびわれ幅を小さくするためには部材引張縁に直筋を補強する方法が最も効果的であり次いで接着剤と

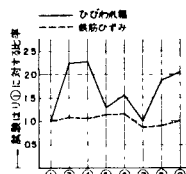


図-7 計算上継目部の鉄筋耐力度が1600 kg/cm<sup>2</sup>になる荷重に対する比較図

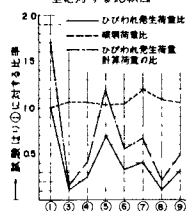


図-8 継目部のひびわれ発生荷重および破壊荷重の比較図

表-3 コンクリートの強度試験表

| 試験    | 養生 | 試体数 | 1次打設                                    | 2次打設                                    |
|-------|----|-----|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 圧縮    | 標準 | 3   | 301 kg/cm <sup>2</sup>                  | 345 kg/cm <sup>2</sup>                  |
|       | 現場 | 5   | 230 kg/cm <sup>2</sup>                  | 265 kg/cm <sup>2</sup>                  |
| ヤング係数 | 〃  | 3   | 2.02x10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> | 2.24x10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> |
| 引張    | 〃  | 6   | 21.4 kg/cm <sup>2</sup>                 | 22.2 kg/cm <sup>2</sup>                 |
| 曲げ引張  | 〃  | 3   | 29.1 kg/cm <sup>2</sup>                 | 29.8 kg/cm <sup>2</sup>                 |

表-2 試験はりの種類とひびわれ幅およびその比率表

| No | 継目面の処理方法                        | 主鉄筋の加工  | ひびわれ幅およびその比率<br>$P=8^t$<br>$\sigma_c=1380 \text{ kg/cm}^2$ | $P=12^t$<br>$\sigma_c=2060 \text{ kg/cm}^2$ |
|----|---------------------------------|---------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1  | 継目なし                            | 1本物     | 0.024 <sup>mm</sup> (1.0)                                  | 0.054 <sup>mm</sup> (1.0)                   |
| 2  | 〃                               | 中央圧接    |                                                            |                                             |
| 3  | 継目面無処理                          | 1本物     | 0.085 (3.5)                                                | 0.122 (2.3)                                 |
| 4  | 〃 テッピン                          | 〃       | 0.080 (3.3)                                                | 0.115 (2.1)                                 |
| 5  | 〃 接着剤                           | 〃       | 0.040 (1.7)                                                | 0.075 (1.4)                                 |
| 6  | 〃 テッピン                          | オーバーラップ |                                                            |                                             |
| 7  | テッピンと直筋補強 (0.42A <sub>0</sub> ) | 1本物     | 0.030 (1.2)                                                | 0.052 (1.0)                                 |
| 8  | テッピンとベント筋 (D14-2本)              | 〃       | 0.062 (2.6)                                                | 0.087 (1.6)                                 |
| 9  | テッピンと筋を交互に使用                    | 〃       | 0.067 (2.8)                                                | 0.101 (1.9)                                 |

使用したものが効果があることが判明した。

図-8から継目部のひびわれ発生荷重は継目の

の種類によって差があり、継目なしのものを基準にすれば、無処理は10%、テッピンしたものは25%、直筋を補強したものは40%、接着剤を使用したものは70%に低下する。破壊時の耐力は継目の種類に関らずほとんど差はないか鉄筋を補強したもののNo.7 No.8については少し増加していることが明らかになった。

#### 6. 結論

電車の継続振動とウケる鉄筋コンクリートの鉛直打継目の力学的性状を検討するために試験を行なったが本試

験の他に既往の研究結果を参考にして設計および施工上考慮すべき諸点をまとめると次のようなことが明らかに  
なつた。

#### [A] 設計上考慮すべき事項

##### (1) 養生中に継続振動をうける鉄筋コンクリートの力学的性状

###### (a) 鉄筋とコンクリートの付着強度について

図-4、表-1に示すように振動をうけたものが無振動のものに比べて付着強度は増加する傾向にある。

したがって設計許容応力度は一般の値を用いてよい。なお本試験における振動性状は振動数 35~50 % 振  
幅 1mm であったがこれは一般の鉄道高架橋についても大体同程度のものであると思われる。

###### (b) コンクリートの強度について

曲げおよび圧縮強度は増加する傾向にある。したがってコンクリートの設計基準強度は一般部と同一にし  
てよいと云われている。(参考文献④)

###### (c) コンクリート打継面の付着強度について

本試験においてはコンクリートの養生中に継続振動をうけるはりの試験は行なっていないが、継続振動をう  
ける鉤直打継目のコンクリート付着強度は弱くなること(参考文献④)確認されている。したがって打継  
目のせん断抵抗を増加させる必要がある。(参考文献③)

###### (d) 鉄筋コンクリートはりのひびわれおよび破壊耐力について

前記(c)と同様に鉤直打継目に振動を与えたものは、無振動のものに比べてひびわれ荷重が約70%に破壊  
荷重が約80%に低下することを確認されている。(参考文献④)

##### (2) 養生中に無振動の鉄筋コンクリートはりの鉤直打継目の処理方法による力学的性状

###### (a) 破壊耐力について

鉤直打継目の有無、および継目の処理方法に関係なくほとんど差がない。(図-8参照) これはその他の  
試験(参考文献④⑤)と同一結果を得た。

###### (b) 継目部の鉄筋の応力度について

鉤直打継面に直筋を挿入して補強する方法、バンド筋を挿入する方法および鉤直打継目の両側に肋筋を密  
に使用する方法を行なえば、継目のないものとほぼ同一な応力度になることが認められた。(図-7参照)

###### (c) 継目部の初期ひびわれ耐力について

継目なしのものに比べて継目面が無処理のものは約10%に、テツピンしたものは約30%に、接着剤を  
使用したものは約65%に初期ひびわれ耐力が低下すること認められた。したがって接着剤の使用は  
初期ひびわれ耐力を増加させるために効果があることが認められた。(図-8参照)

###### (d) 継目部のひびわれ幅について

継目なしのものを基準にして鉄筋の応力度とひびわれ幅の関係をみると、図-6、表-2のようになる。これら  
からわかるように継目部のひびわれ幅を小さくするためには、継目面の部材引張縁に直筋を挿入して補強  
する方法が最も効果があり、その次に継目面に接着剤を塗布する方法も効果があることが認められた。

###### (e) ひびわれ発生状況

打継面に接着剤を使用したものを除いてすべて打継目に最初のひびわれが発生している。このことから  
接着剤の使用は新旧コンクリートの接着に効果があることが判る。なお斜引張ひびわれの発生は打継  
目の有無および処理方法による差はほとんどない。しかし曲げ引張鉄筋を補強したものと補強バンド  
筋を使用したものと、スターラップと密に配筋したものは、当然斜引張耐力が増加している。また打継目  
面を無処理にしておくと、打継目のひびわれが小さな作用荷重で発生し、それが斜引張ひびわれの発生  
を早めている。したがって打継目面の処理は必要なことである。

### (3) コンクリート打継目面の加工鉄筋の引張強度について

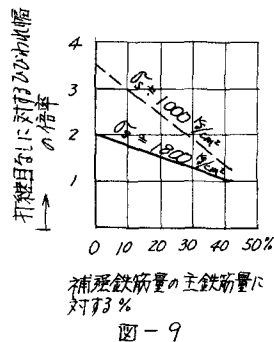
熱曲げ加工あるいは、ガス圧接した鉄筋の引張強度は、無加工のものに対してやや低下する傾向にあるがその低下率は5%位であるから低下はないものとしてもよいと思われる。

### (4) 設計上考慮すべき事項

(a) 鉛直打継目にひびわれが発生したら構造物に害をおよぼすような場合には、打継目面に接着剤と塗布するとともに直筋の補強筋を挿入することが効果的である。なお補強鉄筋として主筋の何%を挿入すれば、ひびわれ幅がどのように減少するか明らかにできないが本試験の結果を図示すれば図-9のようになる。

(b) 鉛直打継目の上縁が引張縁となる場合は橋面排水の漏水により鉄筋が腐蝕をうける。そのためひびわれ幅を小さくすることが必要となるので十分に補強鉄筋を挿入することが望ましい。

(c) セン断力の大きい位置に鉛直打継目を設置せざるを得ない場合も十分に補強することが望ましい。その他の位置に設けた鉛直打継目に対しては特に補強する必要はないと思われる。



### [B] 施工上考慮すべき事項

(1) 本試験においては接着剤の使用および補強鉄筋の挿入が打継ぎ効果を高めるのに効果があることが判った。また金網を用いた打継目は、はつりと同程度の効果を期待してよいとされている。(参考文献②)

(2) 打継目面における鉄筋は既設部材から規定の長さや突出させておくが、建築限界の関係で熱曲げ加工をしてにおいて再び直筋に加工することが多い。その場合鉄筋の真直性は鉄筋の伸びに大きく影響するので、注意して曲げもとをし施工する必要がある。その施工が困難な場合には用込のために補強鉄筋を用いることが望ましい。

(3) 新設部分の型枠は既設部材に十分におしつけ支保工もゆるみがあつてはならない。これは型枠からモルタルが漏れることによってコンクリートの沈下現象が生じ部材上面の鉄筋に沿ってひびわれが生じて欠陥となるとともに、既設部材の振動を新設部材に十分に伝達しないと、鉄筋の付着強度および新旧コンクリートの打継目の強度が低下することになるからである。

(4) 鉛直打継目はツツピングまたは接着剤を使用するなど十分に処理をし、ツツピングの場合には旧コンクリート面に十分吸水させたのち、セメントペースト、モルタルなどを塗って新コンクリートを打継がなければならない。なお新コンクリートの打設には十分にバイブレーターをかけて入念に施工する必要がある。

### 7 あとがき

今後の研究課題としては、コンクリートの乾燥収縮の影、打継目面の補強鉄筋量とひびわれ幅の関係、コンクリートの再振動稀固めの必要性の有無などがのこされている。

### [参考文献]

- ① JIS Z 2201-1956 金属材料試験片
- ② コンクリートライブラリー 第14号「第2回異形鉄筋シンポジウム」1965年12月 土木学会
- ③ 国分正胤著「新旧コンクリートの打継目に関する研究」土木学会論文集 第8号 昭和25年11月
- ④ 山下宣博 平野実他2名著「養生中に継続振動をうけるコンクリートの諸性質について」セメントコンクリート No.287 1971年1月
- ⑤ AMERICAN ASSOCIATION STATE HIGHWAY OFFICIALS STANDARD AASHTO No.159, ASTM DESIGNATION: C 234-57T
- ⑥ 社入豊和著「寸法固まらないコンクリートの性質」コンクリート技術の基礎 1970年 日本コンクリート会議
- ⑦ 岡田清 野尻陽一 本村春一著「コンクリート打継目附近の水和熱測定と温度応力の解析」1970年 土木学会学術講演 V-36
- ⑧ 菊本幸雄 佐久間雅孝著「鉛直打継目をもつRCはり曲げおよびせん断耐力について」コンクリートジャーナル Vol.9 No.6 1971年