

炭素纖維를 사용한 concrete 高架橋柱材料的 耐震補強에 對하여

三塚 寅雄*

1. 序言

本文은 東海道新幹線高架橋 橋脚에 炭素纖維의 Sheet를 貼付하여서 耐震補強을 하는 工法으로 施工하였는데 筆者가 調査한 炭素纖維는 輕量하고 또한 引張強度가 크고 施工目的에 極히 適合한 것이 라 생각된다.

最近 始作한 이 工法의 事例에 따라 말하고자 한다.

本論에 들어가기 前에 먼저 concrete 기둥의 せん斷耐力의 問題로 帶鐵筋에 着目하면

- 1) 軸方向鐵筋의 位置를 確保한다.
- 2) 軸方向鐵筋의 座屈을 防止
- 3) 軸方向壓縮에 依한 concrete의 橫方向을 拘束하여 concrete의 壓縮強度를 充分히 利用할 것.
- 4) せん斷力을 分擔할 것.
- 5) 기둥의 耐力 및 韌性은 軸方向 鐵筋의 配置狀態 帶鐵筋의 形狀 및 間隔에 크게 影響되므로 適切한 量을 配置할 것.

등이 考慮되어 設計手法에 들어간다. 그러나 1995年 1月 17日 午前 5時 46分. 淡路島北部를 震源으로서 阪神地域을 來襲한 M7.2의 直下型地震은 建造物에 多大한 被害를 주었다. 이로인해 耐震設計法을 다시 보고 있다. 高架橋 脚柱는 常時上部工 死荷重. 活荷重을 바치고 있는데 地震時에는 여기에 水平力이 加하여 常時보다 큰 曲Moment나 せん斷力에 抵抗한다.

阪神大地震의 地震動搖는 山陽新幹線의 高架橋에 作用할때, 地表面의 3~5倍의 強度로 增幅되는 性質을 가지고 있다는 것을 財團法人 鐵道總合技術研究所의 解析으로 判明되었다. 그에 依하면 山陽新幹線 西明石驛에서 地震計가 記錄한 最大加速度는 水平方向이 379gal 垂直方向에서 319gal이었다. 이 흔들림이 高架橋에 어떻게 作用하였는가를 計算한 「應答加速度」는 各各 1,800gal로 되어 水平方向은 4倍 以上으로 增幅되었다. 따라서 高架橋는 自重의 約 1.8倍, 設計荷重의 9倍의 힘이 옆에서 눌러진 꼴로된다. 水平方向에 異狀히 강한 힘이 움직였을 것 같으면 concrete의 內部에서는 せん斷破壞에 抵抗하는 힘이 極端으로 적게되어 斜面에 “금”이 들어간다. 이런 類의 기둥(柱)는 本來 水平力에 依한 曲力(曲破壞)을 생각하여 設計되어 있어 선斷 破壞에 강한 것으로 되어 있으나 異常한 水平力이 움직이면 曲破壞보다 먼저 엇갈린 破壞가 순간적으로 일어난다고 한다. 이것등은 concrete 高架橋의 被害의 實體를 보는데에 有益한 研究이고 今後의 詳細한 解明이 期待된다.

2. 施工 其 1

東海道 新幹線은 지금으로부터 約 30年以前에 建設되어 그 後 設計標準도 몇번 改正되어 오늘에 이르렀다.

東京~新橫濱間 第2久保新田高架橋는 3經間連續

* (有)三塚技術士務所 代表取締役

Rahmen構造로 軟弱地盤上에 立地하여 1989년에 沈下에 依한 補強對策으로서 地中梁構造(Underpinning)을 實施하였다.

Underpinning는 Footing 上端橋脚軀體에 감아져 있어 帶鐵筋(@100×10)部分로 그 內部에 감겨져 있다. 기둥에 地震力의 曲Momet을 初代로 받은 部分이 當初의 設計보다 上方으로 移動하였다. 이때 문에 既存의 帶鐵筋에서는 應力度가 不足하므로 炭素纖維(carbon Fiber 以下 略하여 CF라한다.)Sheet을 柱部材에 貼付하는 CF工法을 補強하는 것이 採用되었다.

3. 施工 其 2

阪神地域을 來襲한 M7.2의 直下型地震은 鐵道施設에 큰 被害를 주었다. 神大阪~姫路間은 山陽新幹線을 비롯하여 交通機關은 完全히 不通으로 되었다. Tunnel 高架橋은 崩壞하여 應急復舊에 많은 날을 걸쳐 開通하였다.

新幹線高架橋中에도 比較的 損傷이 가벼운 京都~神大阪間(神大阪驛)의 「應答加速度」는 水平으로 600gal~800gal)는 被害調査가 빠르고, 應急復舊도 數日로 完了하고 神大阪까지의 運轉을 再開하였다. 이 區間의 被害는 高架橋의 橋脚部分의 損傷이 主였다.

新幹線의 대개의 高架橋은 1~Block가 3經關連續 Rahmen 構造이다. 이 때문에 一部の 기둥만 補強하면 補強한 기둥에 應力이 集中하여 結果적으로 橋脚에 連이은 이나 基礎에도 큰 負擔이 걸린다.

따라서 1-Block 中에서 比較的損傷이 큰 기둥은 鋼板壓着工法, 損傷이 가벼운 기둥은 CF工法으로 施工되었다.

4. 補強公法의 概要

既存 concrete 橋脚의 一般的 補強對策으로서 다음 의 그 工法을 말한다.

1) RC卷立工法(例 250mm의 增厚)

新舊concrete 一體化하기 위한 處置等施工이 煩雜하다. 또 軀體의 斷面, 重量이 增加하기 때문에 基礎의 檢討도 同時에 必要로 한다.

2) 鋼板壓着工法(例, 鋼板 두께 6mm, 材質 SS 400)

軀體의 斷面, 重量의 增加는 적는데 現場鎔接, 無收縮 Mortar의 注入等施工이 煩雜하다. 또 長期維持保全上 塗裝이 必要하는 등 工費가 높아진다는 欠點이 있다.

이런 것 등을 背景으로 새로운 分野로서 炭素纖維를 補強材로서 既存 concrete 橋脚의 耐震補強工法이 研究開發되어 1989년에 concrete 그 學年次 論文報告 및 1992년에 土木學會學術講演會에도 發表되어 있다. 以來 實驗研究가 進行되어 既存 concrete構造物의 終局耐力, 耐震性能을 大幅으로 向上시킬 것이 確認되어 急速한 施工實績을 나타내고 있다.

CF에 Epoxy樹脂을 미리 含浸시켜 一方向으로 配列하여 裏打한 Sheet를 軀體에 貼付하는 工法으로 前述의 2工法과 比較하여 利點으로서 다음의 것을 들 수 있다.

① 死荷重의 增加나 形狀의 變化가 거의 없으므로 基礎에의 影響이 적다.

② CF Sheet는 現場에서 接着樹能을 含浸시켜 貼付하는 現場成刑材料이기에 作業성이 좋다.

③ 樹脂의 接着力에 依해 定着을 確保하기 때문에 樹能을 흠내지 않고 補強이 可能하다.

④ 必要한 補強量에 大하여 C.F Sheet의 層數(枚數)을 調節함으로써 對應이 可能하다.

⑤ 部材의 剛性에는 거의 影響을 주지않고 靱性(變形能力)이 向上한다.

⑥ RC 卷立工法 및 鋼板壓着工法에 比較하여 經費와 힘이 적어진다.

⑦ 施工에 關하여 特殊技能은 不要이고 作業上의 安全性이 높다.

5. CF의 성능

CF는 韌性이 있는 鐵筋과 같이 降伏後에도 伸長한데로 건디는 것이지 않고 CF는 꾸김-應力圖에서 直線的으로 應力이 增加하여 終局에서 破斷하는 concret와 같은 脆性的 性質을 나타낸다.

CF의 設計引張強度(破斷時) 25000kgf/cm²로 求한 值의 2/3 卽 許容應力度 $\sigma_a=25000 \times 2/3=16500\text{kgf/cm}^2$ 가 RC 設計法의 鐵筋과 같은 計算으로 設計한 值와 實驗에서 概設計와 같은 結果가 나오고 있는 것에서 施工 其1에서는 이 值를 採用하였다.

施工其1의 補強工事に 對하여서는 CF Sheet를 1層 貼布하면 充分補強으로 된다. 그러나 鐵筋이 降伏點에 達한 後에는 CF로서만 對應하여야 할 것을 생각하면 必要한 斷補強鐵筋의 斷面積은 CF만으로 負擔할 것이라 생각된다.

또 CF Sheet의 두께가 0.3mm란 極히 얇고 傷處를 받았을때의 脆性等を 考慮하여 그 層貼布하기로 하였다.

施工 其2에 對하여서는 CF Sheet의 1層目は 軸方向曲補強으로 하여 2層目は 帶鐵筋方向 斷補強으로서 計2層 蓋었다.

6. 結論

여기까지 멀리 떨어진 震源地에서 傳하여 온 橫播에 건던 設計基準이었다. 阪神大震災의 構造物의 被害狀況에서 今後は 直下型의 地震에 의한 縱播를 加味한 神耐震設計基準이 나타내주는 것도 곳이라 생각된다. 鐵道施設에서는 東京~新大阪나 在來線에 5年間으로 耐震補強工事が 計劃되고 있다. 그 一環으로서 CF工法은 有效한 方法이라 생각된다.

CF를 1層 기둥에 蓋은것으로서 D10의 鐵筋을 10cm間隔으로 帶鐵筋을 配置한것과 同等以上の 補強이 되는것이 試驗研究에서 確認되고 있으나 더욱

理論的 確立이 要望된다.

또 耐久性에 對하여서도 暴露試驗이 하여지고있는데 7年相當은 公表되고 있으나 繼續하여 Data의 蓄積이 必要하다.

더욱 構造物은 經年된것을 補強한다는 立場에서 CF의 接着과 剝離의 問題, 例를 들면 Concrete의 表面劣化狀況이나 틈세의 伸展의 程度, 漏水 등 調査 確認하여들 事項도 많다고 생각한다.

最近의 報告에서는 Tunnel 內的 補強에도 使用되고 있는 것이 興味깊다.

● 참고 문헌

1. 小島, 勝侯, 田中 : 炭素纖維의 卷付けによる 既存鐵筋 Concrete 部材의 耐震補強 Concrete 工學年次論文報告(1989)
2. 長谷川, 松田, 東田 : 炭素纖維을 いたRC橋脚의 耐震補強, 土木技術(1992)
3. 小島, 木村, 緒方 : 炭素纖維による 構造物補強의 現狀, 橋梁(1993)
4. 森, 若下, 松井, 西川 : 炭素纖維Sheet による 床版下面補強效果에 關する 研究, 橋梁と基礎(1995)
5. 緒方, 前田, 安藤 : 炭素纖維による 既存RC橋脚의 耐震補強 日本道路公團, 試驗研究所報告(1994)
6. 日本建築學會 「鐵筋 Concrete 構造計算基準·同解説」
7. 日本道路協會 「道路橋示方書·同解説」
8. 鐵道總合技術研究所編 「鐵道構造物等設計標準·同解説 Concrete 構造物」
9. 朝倉, 安東, 小侯, 若菜, 松浦 : 欠陥을 有する Tunnel 覆工의 變形稼動と 內面補強工의 效果, 土木學會論文集(1994)
10. CF Renaissance System : 炭素纖維 Sheet 工法

※ <그림 및 도표는 원고가 선명치 못하여 생략하였음. 자료는 본회 사무국에 비치되어 있음>.