

12. 炭素繊維を用いたRC煙突の耐震補強工法

(株)大林組：加藤 実・小島 克朗

*小島 信男

1 ま え が き

1968年の十勝沖地震を契機に建築基準法の耐震規定が強化され、鉄筋コンクリート構造物では従来にも増して高い耐震性が要求されるようになったが、これに呼応するように、旧基準で設計された既存のRC煙突に対してもより効果的な耐震補強が望まれるようになってきた。

従来から行なわれているRC煙突の耐震補強工法としては、①頂部のコンクリートを切断して煙突重量を軽くすることにより地震の入力を低減させる方法、②コンクリートの周囲を鋼板で覆うことにより煙突の曲げ耐力を強化させる方法が提案されている。しかし、①の工法に対しては、頂部コンクリートの切断時に通煙の停止が前提となること、煙突高さを維持するために鋼板やステンレス等で復旧する必要があること、また、②の工法に対しては、コンクリートと鋼板との隙間にグラウト材を充填することによる重量増のため地震入力が増大してしまうこと、使用条件によってはグラウト材が劣化するため補強の信頼性が損なわれること等の問題点が残されていた。

このような従来工法で生じていた問題点を解消するとともに既存RC煙突の耐震補強のニーズに応えるため、炭素繊維を用いた耐震補強工法を三菱化成株と共同で開発し、実用化した。

2 炭素繊維耐震補強工法の概要

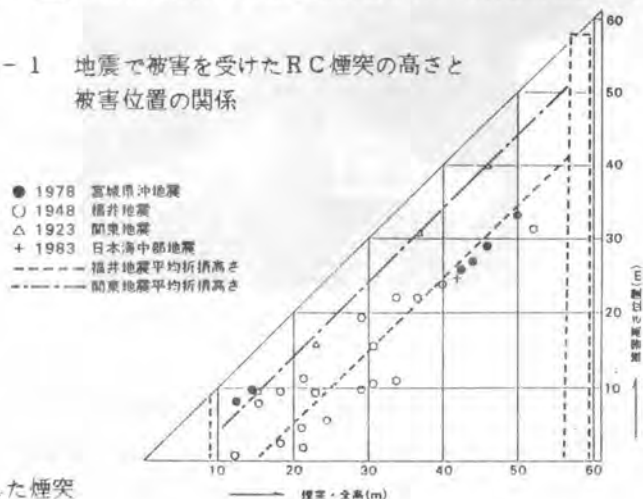
2-1 耐震補強の必要性

写真-1は、昭和58年の日本海中部地震で上から17mの部分骨折れた高さ42mのRC煙突を示したものである。また、図-1は、過去の地震で被害を受けたRC煙突の高さと、その被害位置の関係



写真-1 地震で上部が折損・倒壊した煙突

図-1 地震で被害を受けたRC煙突の高さと被害位置の関係



を示したものである。図-1によれば、地震による煙突の被害は地上から1/3以上の高さで発生しており、この部分での曲げ耐力の不足が指摘されている。

RC煙突の耐震性の判定は、日本建築防災協会の「既存RC煙突の耐久・耐震診断指針（案）」で規定されている地震時入力に対する煙突の必要曲げ耐力（ R_s 値）と煙突の保有曲げ耐力（ O_s 値）を用いて算定されるが、上述の被害を受けた煙突では、被害部分の保有曲げ耐力が明らかに不足していたものと推察される。このように、RC煙突においては保有曲げ耐力を必要曲げ耐力以上となるように耐震補強することが必要であり、その際には、煙突重量の増加を最少にとどめることが基本となる。

2-2 炭素繊維の適用

炭素繊維は軽く、強く、さびないという優れた特性を持つ材料であり、エポキシ樹脂を用いてコンクリートに接着させ一体化を計ることによって十分な補強効果の得られることが実験により確認された。

RC煙突に適用する炭素繊維として本工法では、UDテープ（繊維を単一方向に配置し、プリプレグのシート状に加工したもの、 $W 33\text{ cm} \times L \text{ MAX. } 100\text{ m}$ 、曲げ補強用として縦方向の全面に重ね代を設けながら貼付ける）とCFストランド（直径10ミクロン前後の繊維を約1万本束ねて糸状にしたもの、せん断補強並びに温度応力によるコンクリートのひびわれ防止用として横方向2.5~5mm間隔で一定張力をかけながら巻付ける）を用いており、いずれもレジン（エポキシ樹脂接着材）を用いて接着させる。UDテープは補強量に応じて1~数層を貼付けるが、必要補強量（層数）は上述の R_s 値と O_s 値を用いて地震時入力加速度をパラメーターとして算出する。

表-1及び写真-2~写真-3に、UDテープ及びCFストランドの物性と外観、図-2に、本工法の補強概念、図-3に、中空円形断面の鉄筋コンクリート部材を用いて行なった曲げ試験結果、図-4に、実機煙突における耐震診断結果をそれぞれ示す。



図-2 炭素繊維による補強概念

表-1 UDテープ及びCFストランドの物性

材 料 名 称	引 張 り 強 度	弾 性 係 数	伸 び
U D テ ー プ	約300Kg/mm ²	約24Ton/mm ²	約1.2%
C F ス ト ラ ン ド	約300Kg/mm ²	約24Ton/mm ²	約1.2%



写真-2 UDテープ



写真-3 CFストランド

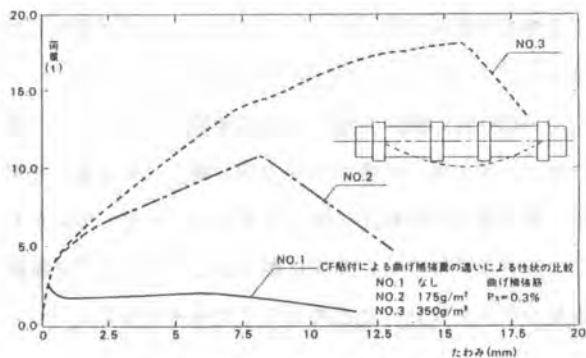


図-3 中空円形断面の曲げ試験結果

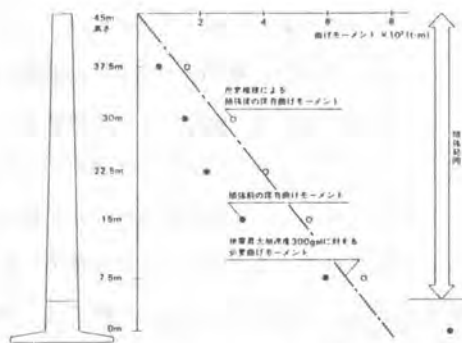


図-4 実機煙突における耐震診断結果

2-3 施工方法

高所での作業のため安全を考慮した施工法並びに合理的な施工法の確立を目標に円形ゴンドラ、UDテープ貼付け装置、CFストランド自動巻付け装置を開発して、可能な限りの機械化及び省力化を試みた。写真-4～写真-5に、円形ゴンドラ及びCFストランド自動巻付け装置の外観を示す。

本工法は、①コンクリート下地調整（コンクリート表面の劣化部分の除去及び凹凸面の不陸調整）、②コンクリート補修（ひびわれや浮きの補修）、③プライマー塗布（補強下地の調整）、④UDテープ貼付け（曲げ補強）、⑤CFストランド巻付け（せん断補強、温度応力の抑制）を施工の基本としており、これに附随して、仮設工事や既存設備の撤去・復旧工事を行なう。

図-5に、本工法の施工要領、図-6に、施工手順のフローを示す。



写真-4 円形ゴンドラ



写真-5 CFストランド自動巻付け装置

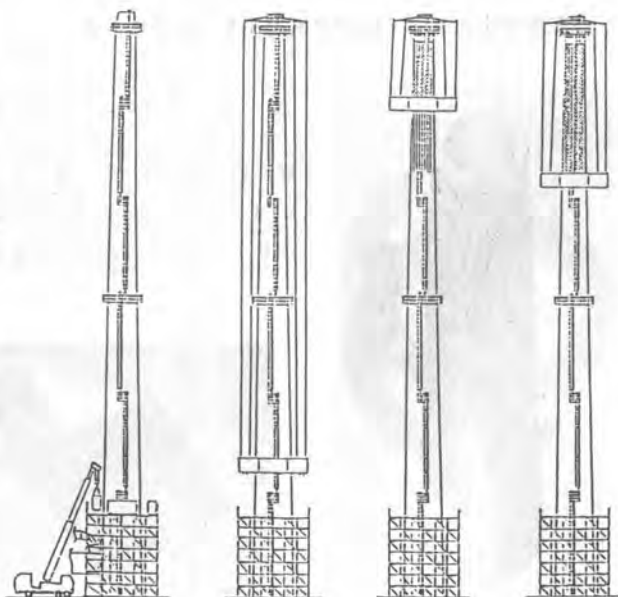


図-5 施工要領



図-6 施工手順

2-4 炭素繊維耐震補強工法の特徴及び施工例

本工法の特徴は以下の通りである。

- ① 煙突重量の増加が従来工法の数十分の1～数百分の1程度とごくわずかなため補強効果大きい
- ② 曲げ補強だけでなくせん断補強や温度応力によるコンクリートのひびわれ防止も可能
- ③ 補強材料が軽量なため大掛りな重機が不要で狭い場所での施工が容易
- ④ 円形ゴンドラの使用により外部足場を全面に設ける必要がない
- ⑤ 煙突通煙中でも補強工事が行なえるため施工時期に制約がない
- ⑥ 補強面がコンクリートの保護層となるため煙突の耐久性向上に大きく寄与する

本工法による補強は、これまでに高さ50m級の煙突に対し5件、高さ100m級の煙突に対し1件の実績がある。写真-6に、円形ゴンドラを用いて行なった100m級煙突の耐震補強工事状況を示す。



写真-6 補強工事状況

3 あとがき

高強度、軽量、優れた耐久性を有する炭素繊維に着目し、一方で、安全並びに合理的な施工を目標に円形ゴンドラ及び自動巻付け装置を開発したことによって本工法の実用化が可能となった。

本工法の適用は、ここに紹介したRC煙突の耐震補強だけでなく、既存建物の柱の補強、土木構造物の橋脚の補強、また、経年劣化した塔状構造物のコンクリートの剥落防止など今後幅広い活用が期待される。