

鉄筋コンクリート煙突の振動測定による調査

八幡製鉄所建設局勤務

土木学会 正員

中 村 清

要 旨 鉄筋コンクリート煙突の固有週期より材料の平均弾性係数を算定し、煙突稼働年数との関係を求めると、急激に弾性係数が低下することを知った。測定対照とした煙突では、化学的影響が考えられないので熱的影響であると推察した。此の対策として考えられる方法の若干を示し、今後の補修の必要を生じた場合の対策の1つとして、煉瓦煙突に施した補修例を測定して、効果の程度を確認し、補修の参考とした。

1. 固有週期より求めた強度低下について

煙突が直接地震による被害例としては、S 23 年福井地震において、39 本の R. C. 煙突中無被害 1 本と報告されているが、破損の様相に影響を与える諸条件の 1 つとして、材料の年齢による強度の変化、熱応力による亀裂が考えられている。(註-1) 最近では地震或は颱風による原因でなくて、破損について注目される様になってきた。(例えば註-2) 筆者はコンクリートの耐熱性よりみて、鉄筋コンクリート煙突が意想外に設計当初の強度を喪失するのではないかと、考えていた。S 28 年より固有週期によりこれらの傾向を求める事として、八幡製鉄所内の 80 数本の独立鉄筋コンクリート煙突の丁を測定し、見掛け弾性係数を求めた。固有週期丁の測定には保坂式動コイル型換振器と各種のオツシロを使用した。(註-3)

固有週期は風によって煙突に起る振動週期を取ったがこれは 1918 年の大森博士の佐賀之関煙突測定以来(註-4)一般に採用されている。試みに煙突筒頂に引張力を与えて得た振動週期と風による場合と略々一致していた。(註-5)

測定した固有週期より見掛け平均弾性係数を求めたのであるが、この計算にはレエリーの勢力式を使用した。

勢力式については後年物部博士が佐賀之関煙突振動計算で、この式により補正されている通り一応認められているのであるが、(註-6) 一本の煙突について、正解法と比較してみると、

誤差約2%であった。(註-7) 測定より計算結果を纏めると弾性係数が煙突稼働年数によって、又煙突廃ガス温度によって、定量的な低下の関係がある事を見出した。(註-8)

2 弾性係数低下の原因について考察

弾性係数の低下は

(a) 排瓦斯による化学的影響

(b) 熱的影響

が考えられるが、測定対照の煙突は総て内側に耐火煉瓦若しくは赤煉瓦でライニングしていて、外殻コンクリート筒体内側との間に50%~60%の空隙を有し、地盤面附近で多数の2"管で外界に連らなっている。この空隙には10~20%のドラフトを通常有している。従って排瓦斯が直接コンクリート内面に触れることはないから、条件(a)は大きい素因と考えられない。これは前記(註-2)の試験報告にも示されている。

1954年新設された加熱炉用煙突について、工場稼働迄の養生期間中の測定結果と、稼働後の週期変化を調べてみた所、急激な弾性係数の低下を起していた。

終戦直前建設完了し現在迄稼働していない軌条工場用煙突の固有週期より求めた弾性係数は、現在新設されている煙突の弾性係数と同一程度であって低下を起していない。(註-9)

1951年に建設された分塊工場用均熱炉煙突は稼働直後亀裂が発生し、普通の表面温度30℃内外であるのに対し、70℃近くになり、亀裂発生直後の測定によると弾性係数125000kg/cm²と計算された。(註-10) これは前記の空隙が施工不良により閉塞されているものと考えられた。外界と連絡している2"管よりのドラフトが殆んどなかった事より閉塞と推察したのであるが、その後工場の修繕を利用して点検してみると、推察通りの結果を見出した。内部耐火煉瓦ライニングを再施工し50%空隙を完全にとることにより、筒体コンクリート表面を30℃内外に落す事が出来た。

これらの事実より弾性係数が稼働年数の増加につれ減少していくことは、熱的影響以外にはその原因が考えられなかった。

3 対策と考えられる事項

鉄筋コンクリート煙突の材質保護の為に、内部耐火煉瓦巻とコンクリート筒体との間に、Air Spaceを設ける事は既に述べた。普通30℃~40℃の表面温度であって(註-11)表面温度が更に大きい煙突の破損は更に速かなる進行が期待される。従って廃瓦斯200℃以

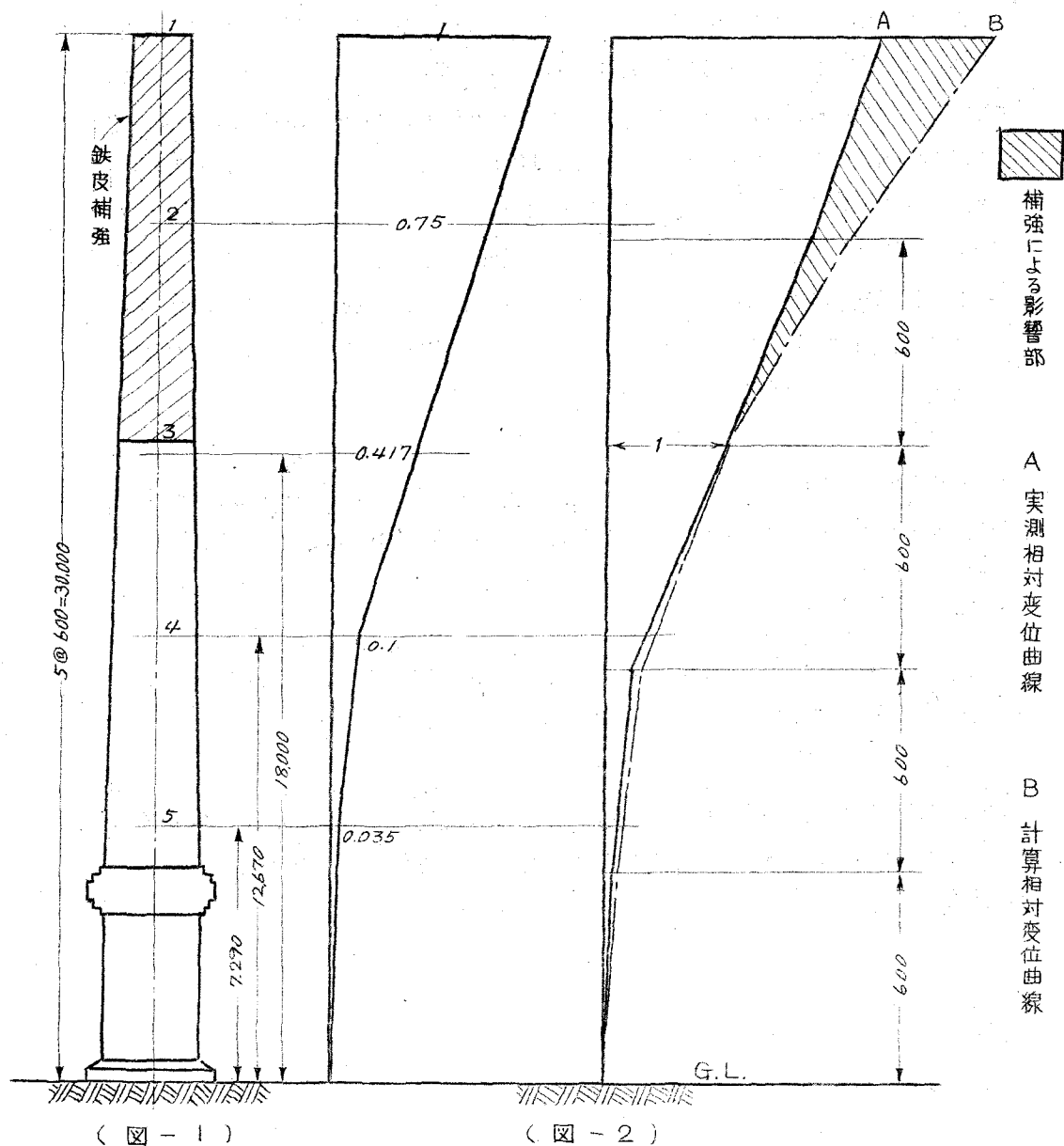
上となる煙突に、内部ライニングを有しない煙突の如きは到底完全なる状態に維持することは不可能と考えられる。(註-12) Air Spaceの間隔は米国では非常に大きくとっている様である。(註-13) 又戦時中に建設されたKaiser Fontana 製鉄所における各炉用煙突には、その表面に蜂巢状に換気孔(約10 cm角)が設けられている。(註-14) この様に熱的影響に対し、格段の注意が払われている。

煙突の固有週期に影響する計算上の主要部は、筒頂における諸元である。實際煙突における破損の様相は筒頂において甚しく、従って固有週期の延長に大きく響いている様である。一方煙突の固有振動相対変位曲線を求めてみると、該曲線の曲率半径の非常に小なる点の存在する事も見出される。従って固有週期を努めて小ならしめ、平均見掛け弾性係数を大ならしめる方法は解決されてくる。図の煙突は大正13年5月建設されたタール蒸溜用煉瓦煙突で、最近特に頭頂附近より煉瓦屑が落下し、危険であったので、頭部約10 mの間PL 6%を以って煉瓦外側より巻き、ボルトをもって締める補強工事が実施された。S 29.9.30 固有振動週期並に相対変位曲線を求めてみた。振動週期は0.875 秒であった。図-2には計算上と実測上との二つの相対変位曲線を示した。この結果より

(a) 一般に煉瓦造煙突週期は高50 尺の場合1.0 秒、高100 尺の場合2.5 秒と示されている(例えば註-15)のに対し著しく小であって、剛性が大であった。

(b) 鉄皮による補強が明らかに有効である。

以上は既に発表した(註-16)所であるが、補強の点より考えるならば4点附近の曲率半径を大ならしめる為に、頭部は単に煉瓦屑落下を防止する程度とし、4点附近を鉄皮補強するのが妥当と考える。



4 結 言

鉄筋コンクリート煙突に対し、頭部の欠損の為の補修を最近実施した外、徹底的な補強例を持たないのであるが、必要時の補強対策として、振動諸問題研究上の1部として得られたので、

此処に発表した。

本研究には東大吉山博士の御指導による所多く謹んで感謝の意を表明しておきます。

参 考

註-1 蛭田氏外2名

昭和23年福井地震震害調査報告 II 建築部門 P196

註-2 建設省建築研究報告

昭和30年1月建築技術誌 P541

註-3 中村 清

昭和30年5月地震学会春季大会にて発表

註-4 大森博士

Bull. Imperial Earthq. Invest. Comm. 9 (1918)

註-5 中村 清

Proc of the 6th Japan National Congress for App Mech.,
1956 IV-26

註-6 物部博士 土木耐震学 P218

註-7 中村 清

Proc. of the 4th Japan National Congress for App. Mech.,
1954 IV-7

註-8 中村 清

第11回土木学会年次学術講演会にて発表

註-9 註-8より

註-10 同上

註-11 中村 清

昭和29年度土木学会西部支部研究発表会にて発表

註-12 神戸大学工学部よりの照会

註-13 ACI 505~54

Specification for the Design and Construction of R. C.
Chimneys

註-14 1956.10月 Kaiser Fontana 工場視察結果

註一15 例えは註一4

註一16 中村 清

昭和29年度土木学会西部支部研究発表会にて発表