

炉底マンテルの発破解体における地盤振動と爆風荷重に関する検討

(株) 奥村組 正会員 ○塚本 耕治 野村 俊也
新日本製鐵(株) 正会員 高野 良広 上村 竜介

1. はじめに

新日本製鐵(株)大分製鐵所第1高炉(4次)の改修工事では、炉底マンテル内に残留、固化した残銑の解体撤去に発破工法を用いた。高炉敷地内の発破であることから、発破による飛散物や振動が稼働中の設備に悪影響を与えることが懸念された。そのため、炉底マンテル上部に発破防護を設置して飛散物を防止した。また、事前の試験発破から重要構造物や設備での最大振動速度が管理基準値(1kine)以下になる装薬量を決めて本発破を実施した。本稿は、発破によって地盤内を伝播する弾性波の挙動と炉底マンテル上部に設置した発破防護の有効性について報告する。

2. 炉底マンテルの発破解体方法

炉底マンテルの断面図を図-1に示す。炉底マンテルの発破解体では、分割するブロック重量が50t程度になるように残銑削孔機を用いて約600本の鉛直装薬孔を削孔した。発破による残銑の破片が炉底マンテルの外に飛散しないように発破防護として、マンテル上部の開口部を鋼製の防護蓋(厚さ40mm)で全体を覆い、さらにH形鋼(高さ588mm, 幅300mm)を2.6m間隔の格子状に配置して補強した。また、防護蓋に作用する爆風荷重を低減するため、マンテル開口部外周30箇所に取り付けけた突起物(高さ10cm)で防護蓋を支持して排気用の開口を設け、発破で発生したガスを炉底マンテル外に排出するようにした。さらに24本のワイヤロープ(φ18mm)で防護蓋を炉底マンテルに緊結した。爆薬には安全面で優れた含水爆薬、雷管にはノネル雷管を使用した。なお、試験発破の振動計測結果から1回の装薬量を50kg以下とし、試験発破1回、本発破8回の合計9回の発破を実施した。

3. 発破による地盤振動

炉底マンテルの中心から半径300m内にある重要な建造物や施設を対象に6ヶ所の測点で計測した。このうち、地表と同じ高さの測点1(発破直下の鋼製架台上)、測点2(土間コンクリート上)、測点3(道路上)の配置を図-2に示す。発破振動の計測では、3成分速度振動計、GPS時刻と振動データをサンプリング周波数1kHzで計測できるデータロガーを使用し、GPS時刻を一致させることにより振動データを同期させた。

装薬量と最大振動速度値の関係を図-3に示す。この結果から重回帰分析を行い、発破振動の予測式¹⁾の各係数を次式のように求めた。

$$V = K \frac{W^n}{r^m} = 12.4 \cdot \frac{W^{0.8}}{r^{1.3}} \quad (1)$$

ここで、 V は振動速度(kine), W は装薬量(kg), r は発破位置からの距離(m), K , m , n は係数である。式(1)の距離減衰を表す係数 m は岩盤を発破す

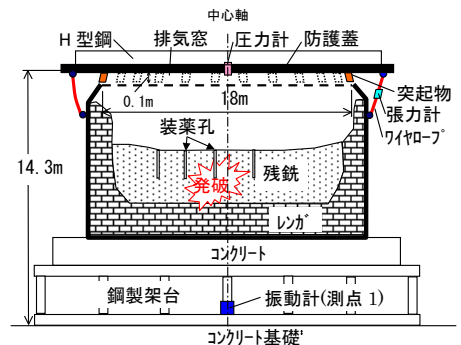


図-1 炉底マンテル発破状況(断面)

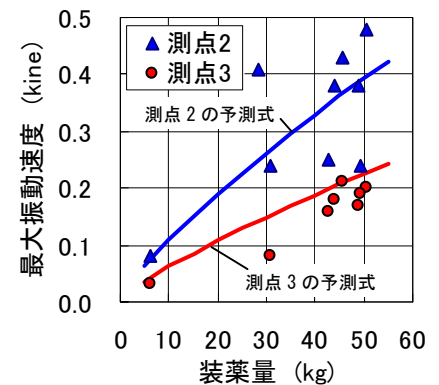


図-3 最大振動速度と装薬量の関係

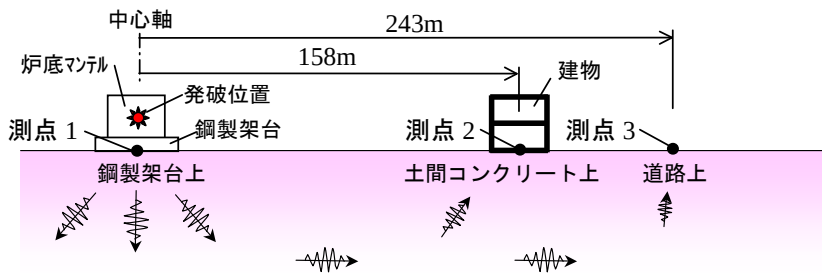


図-2 計測点配置

キーワード 発破解体, 地盤振動, GPS, レイリー波, 爆風荷重

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂387 (株)奥村組 技術研究所 TEL029-865-1779

る場合の2.0に比べ、1.3と小さく、発破位置から離れても振動速度が大きいことがわかる。測点3で計測された振動速度波形を図-4に示す。1.3秒付近にP波($V_p=185\text{m/s}$)、2.4秒付近にS波($V_s=100\text{m/s}$)が到達する。S波の後続に振幅の大きい波動が到達しており、これはレイリー波(表面波)と見られる。これを確認するため、速度波形を積分し鉛直面内の変位軌跡に整理した結果を図-5に示す。図中の青色と赤色の軌跡は図-4の青色と赤色の波動に対応させている。青色部分は水平方向の振幅が上下方向より大きく時計廻りのS波の軌跡であり、赤色部分は上下方向に長く、反時計廻りの楕円形状を描くレイリー波の軌跡である。以上から、レイリー波の伝播により発破位置から離れた位置にもかかわらず振動速度が大きいことを確認した。

4. 防護蓋に作用する爆風荷重

防護蓋の中央に圧力計を取り付け、爆風圧を計測した。また、炉底マンテルと防護蓋を緊結するワイヤロープのうち4本に張力計を取り付け、ワイヤロープの引張荷重を計測した。

装薬量30.75kgで発破した際の爆風圧の最大値は0.088MPaであり、地中発破の実験式²⁾から求めた爆風圧0.011MPaの8倍になった。実験式による爆風圧曲線の最大爆風圧が0.088MPaになると仮定し、防護蓋に作用する爆風荷重を求める。図-6に示すように爆風圧が作用する円面積を8つの領域に分割して爆風荷重を計算すると、約12,300kNになる(表-1)。一方、ワイヤロープの引張荷重の計測値から1本あたりの最大引張荷重を計算すると9.31kNになる(表-2)。防護蓋に作用した全爆風荷重は防護蓋の自重およびワイヤロープの全引張荷重から約1,600kNと想定できる。防護蓋の自重とワイヤロープの引張荷重から想定した爆風荷重は爆風圧から想定した場合の1/8程度である。よって、防護蓋中心から離れた位置での爆風圧は仮定した爆風圧曲線の値に比べ、かなり小さいと考えられる。以上から、防護蓋外周に設けた開口付近の爆風圧が減少し、防護蓋に作用する爆風荷重が低減したものと推察できる。

5. まとめ

炉底マンテル内の残銃撤去工事において、最大振動速度を振動管理することで設備に影響を与えない安全な発破を実施した。発破振動の計測ではレイリー波の伝播により発破位置から離れた場所でも振動速度が大きいことを確認した。さらに、防護蓋の爆風荷重の計測では発破防護が有効に機能したことを確認した。今後、地盤と構造物をモデル化し、計測した振動データを用いた動的応答解析を行うことにより、装薬量や地盤条件が異なる場合の振動予測について検討したい。

参考文献

- 1) 日本火薬工業会, あんな発破こんな発破
- 2) 火薬学会, 現場技術者のための発破工学ハンドブック, 共立出版

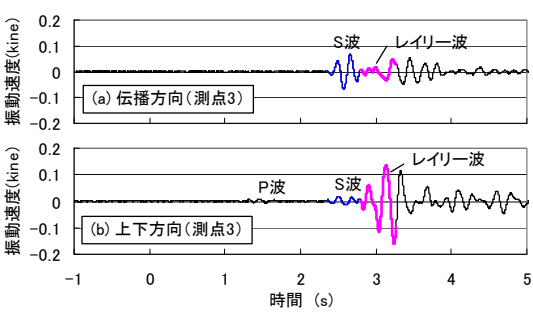


図-4 振動速度波形(測点3)

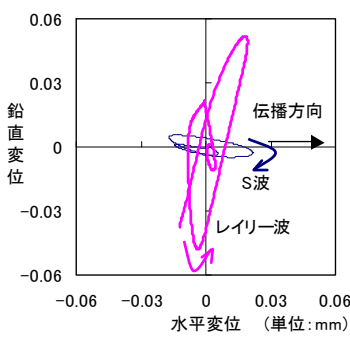


図-5 地盤変位の軌跡(測点3)

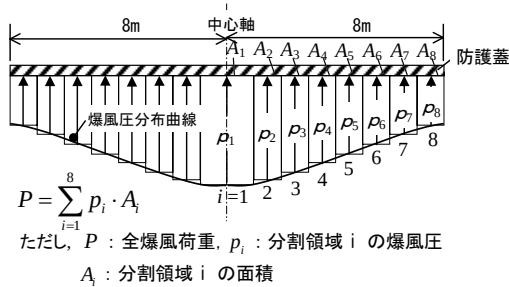


図-6 防護蓋に作用する爆風圧分布と爆風荷重

表-1 爆風圧から想定される爆風荷重

分割領域 番号	面積 (mm ²)	爆風圧 (MPa)	爆風荷重 (kN)
1	3.14E+06	0.0888	279
2	9.43E+06	0.0856	807
3	1.57E+07	0.0800	1,257
4	2.20E+07	0.0728	1,600
5	2.83E+07	0.0664	1,877
6	3.46E+07	0.0592	2,046
7	4.08E+07	0.0536	2,189
8	4.71E+07	0.0472	2,224
全爆風荷重			12,279

表-2 ワイヤロープの荷重から想定される爆風荷重

ワイヤロープ1本あたりの引張荷重	(5.88+10.78+7.84+12.74)/4 = 9.31 (kN)
ワイヤロープの全引張荷重	= 1本あたりの引張荷重×本数 = 9.31×24 = 223 (kN)
全爆風荷重	= 防護蓋の自重+全引張荷重 = 1,340+223 = 1,563 (kN)