

国内における立坑・斜坑のデータベース化と瑞浪超深地層研究所の立坑内径

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所

正会員 坂巻 昌工 正会員 佐藤 稔紀

正会員 見掛 信一郎 FELLOW 会員 〇今津 雅紀

1. はじめに

瑞浪超深地層研究所は、結晶質岩（花崗岩）を主な研究対象として、地上部より地下 1,000m に及ぶ立坑や水平坑道から構成され、2009 年度末には深度 1,000m まで掘削する予定である。本報告では、これまで国内で掘削された大深度立坑を中心とした歴史と実績を述べるとともに、発表文献^{1),2)}に基づき施工実績をデータベース化した。また、その分析結果として立坑径の度数分布や立坑深度と径および斜坑延長と勾配の関係を示した上で、立坑内径設定において、換気および主立坑の機能と アクセス性、 施工性、 経済性、 工程の観点から決めた。

2. 立坑・斜坑の歴史

わが国における立坑の歴史は古く、ヨーロッパからの技術導入により明治初期に鉱山（炭鉱含む、以下同様）開発と同時に始まった。大深度立坑の施工は、採炭切羽の深部化に伴って 1955 年頃から 1980 年頃まで数多く施工され、深さが 1,000m を越える大深度立坑も 3 本施工されている。しかし、その後石炭産業の斜陽化とともに立坑施工は急減し、鉱山分野では、1979 年に完成した三井砂川鉱山南部排立坑（φ5.5m×891m）が、最後の大深度立坑施工となっており、その後は 200m クラスが数例あるのみである。一方、土木分野の立坑は、1960 年頃からわが国の高度経済成長とともに、鉄道および道路トンネルや地下発電所等における作業用・換気用・材料搬入用・調圧水槽・水圧管路等の立坑に加えて、長大トンネルに付随した延長の長い作業用斜坑が多く施工されている。一方、500m を越える大深度立坑の施工例は、鉱山分野の方が 58 例以上と圧倒的に多く、土木分野では 2 例あるのみである。

近年では、機械の大型化および効率化の観点から斜坑を採用することが多くなり、揚程差が 100m を越えると経済性等の理由から立坑が有利となる場合が多いものの、道路トンネルにおける換気目的の立坑を除いて、斜坑を用いたアプローチが選択される場合が多い。横坑、斜路と斜坑の定義としては、勾配 1/20(5%)までが横坑、1/8(12.5%)までが斜路、1/8 以上が斜坑と呼ばれている³⁾。本報告では、横坑・斜路・斜坑を総称して斜坑と呼ぶこととする。

3. 立坑・斜坑の実績

(1) 立坑の実績

表 - 1 鉱山および土木における立坑深度ベスト 5

国内における立坑実績のうち、公表あるいは資料が公開されている鉱山関連の立坑 147 例および土木関連の立坑 112 例をデータベース化した。鉱山および土木における立坑深度のベスト 5 を示すと表 - 1 となる。施工方法については、1963 年にショートステップ工法（地山状況により、1.2～2.6m の短いサイクルで掘削と覆工を繰り返して立坑を掘下がる工法）が開発され、従来のロングステップ工法に取って替わり安全性が向上した⁴⁾。NATM は、吹付コンクリートによる換気悪化の問題や吹付コンクリート面の凹凸がスカフォードの移動時に障害になる等の理由から数十 m 以上の深さになると、採用されない場合が多いが、ロータリー吹付機を用いて深度 139m（φ4.2m）の立坑を施工した事例（広島県、休山立坑）や橋脚基礎など大口径の場合に採用されている。

	No.	立 坑 名	深度 (m)	径 (m)	完成年
鉱山	1	住友奔別中央排気立坑	1222	7.0	1968 頃
	2	北炭幌内排気立坑	1044	6.5	1974
	3	日本炭鉱高松第 5 立坑	1014	6.0	1962
	4	三菱高島鉱山二子立坑	965	6.5	1963
	5	北炭夕張炭田新鉱第 1 立坑	916	7.0	1974
土木	1	恵那山 T 換気立坑（第一期）	621	6.2	1975
	2	恵那山 T 換気立坑（第二期）	571	6.1	1985
	3	第二阪奈道路中央立坑	481	9.3	1995
	4	安房 T 換気立坑	450	7.5	1998
	5	俣野発電所水圧管路立坑	440	7.2	1982

(2) 斜坑の実績

国内における斜坑実績のうち、公表あるいは資料が公開されている土木分野を中心とした 97 事例をデータベース化した。斜坑の延長ベスト 3 を示すと表 - 2 となる。いずれも長大鉄道トンネルのもので期しくも青函 T（津軽

キーワード：山岳トンネル、立坑、斜坑、地下研究施設、高レベル放射性廃棄物、データベース

連絡先：〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64 TEL 0572-66-2244 FAX 0572-66-2245

表 - 2 斜坑の延長ベスト3

No.	トンネル名	斜坑名	延長(m)	勾配(%)
1	八甲田トンネル	折紙横坑	1,332	1.1
2	青函トンネル	竜飛斜坑	1,315	25.0
3	岩手一戸トンネル	摺糠斜路	1,268	8.3

海峽線, $L=53,850\text{m}$), 八甲田 T(東北新幹線, $L=26,455\text{m}$), 岩手一戸 T(東北新幹線, $L=25,810\text{m}$)とも日本のトンネル延長ベスト3に対する斜坑である。道路トンネルでは, 恵那山トンネルにおける飯田斜坑の $1,048\text{m}$ (勾配 25%) が最長である。掘削ずりの搬出方法は, 勾配が 20% より急な場合はインクライン使用のレール方式となり, 12.5% 以下の場合にはタイヤ方式が一般的に用いられ, 近年では NATM においてもずり搬出にベルトコンベア方式を採用する場合もある。勾配が急になるほど斜坑工事の施工性と安全性は悪くなり, NATM の普及とともに, 可能な限りタイヤ方式の採用が多くなっている。また, 水圧管路など急勾配な斜坑や立坑になると, レイズボーリングやクライマー工法, TBM 等が採用されている³⁾。

4. これまでの実績に対する分析

図-1 は鉱山および土木分野における立坑深度と立坑径の関係を示したものである。ただし, 径 10m を越える地下発電所立坑 ($\phi 17\text{m}$) 等の数例や立坑の形状が矩形のものは除外している。鉱山立坑については, 39% の 58 立坑が深度 500m 以上であり, 63% が深度 300m 以上である。また, 土木立坑は深度 300m 以上で 13% (14 例)があるのみで, 200m 以上でも 29% あるのみである。一方, 立坑径においては, 鉱山立坑が最大径 7.8m で 7m 以上のものが 7 例であるのに対して, 土木立坑は 7m 以上のものが 34% ある。また, 鉱山立坑の 6m 以上および 5m 以上のものが $30\%/56\%$ であるのに対して, 土木立坑は $56\%/73\%$ である。土木立坑は, 深度は浅いものの径が大きいものが多い。これは, 鉱山立坑の主目的が石炭等の搬出にあるのに対して, 土木立坑はずりの運搬に加えて機械の搬入等作業スペースおよび換気を兼ねていたことに起因している。図-2 は, 立坑径度数分布を示したものであるが, 深度 300m 以上の場合, 5.0m および 6.0m を中心に立坑径 4.0m から 7.0m に多く分布 (92%) している。図-3 は, 斜坑延長と勾配との関係を示したものであり 25% 勾配のものが 50% あり, $10\sim 12.5\%$ 勾配のものが 25% を占めている。また, 1980 年以降 21 例の斜坑があるが, その内 3 例のみ 25% 勾配であり, 近年では効率の良いタイヤ方式を使える 12.5% 勾配が設計段階から採用されている。

5. 瑞浪超深地層研究所の立坑内径

瑞浪超深地層研究所は, 2002 年 7 月に着工され, 深度 $1,000\text{m}$ の主立坑 ($\phi 6.5\text{m}$) および換気立坑 ($\phi 4.5\text{m}$) の掘削に着手した段階である。立坑の断面径設定にあたっては, 各々の立坑に求める機能(主立坑: 水平坑道掘削のために必要な資機材や重機の搬入ができ, 換気および掘削のための入出坑が可能なこと, 換気立坑: 換気および掘削のための入出坑に加え見学者用のエレベーター設備設置が可能なこと)を分担した上で, アクセス性: 重機械を分解してスカフォード開口部を通過できること ($\phi 6.5\text{m}$ ~), 施工性: $1,000\text{m}$ 掘削に必要な設備の配置 ($\phi 6.5\text{m}$ ~) やワイヤの安全率・換気断面・力学安定性の確保, 経済性: ショートステップが可能で必要最小限径の選定 ($\phi 4.0\text{m}$ ~), 工程: 月進 30m ~ 35m を確保できる効率の良いズリ搬出 ($\phi 4.5\text{m}$ ~) 等を考慮して, 地下深部 $1,000\text{m}$ に設置する地下研究施設としての機能を最大限に発揮できるように決めた。データベース作成にあたって, ゼネコン各社(大林, 清水, 大成, 鹿島, 三井住友, ハザマ)の内部資料およびパンフレットを参考にしたので, ここに記して謝意を表します。

【参考文献】 1) 野村貢, 山地宏志, 櫻井春輔, 茶川真一, M.U.Ozbey: 第1回: 大深度立坑とその周辺, 岩の力学国内連合会, 岩の力学ニュース No.50, 1998.11, 2) 社団法人 土木学会: トンネルライブラリー第7巻 山岳トンネルの立坑と斜坑, 1994.8, 3) 北新建設(株): 立坑開さく法(改訂版), 1995.1, 4) 社団法人 日本トンネル技術協会: トンネル工事の安全 —山岳トンネル斜坑・立坑編—, 1992.5

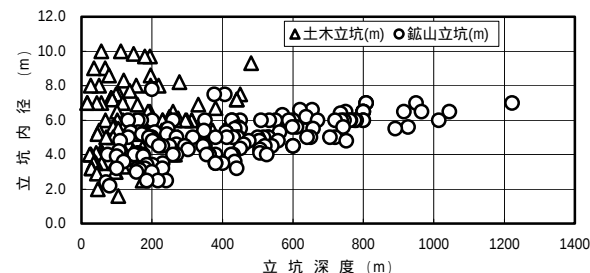


図 - 1 鉱山と土木における立坑深度と径の関係

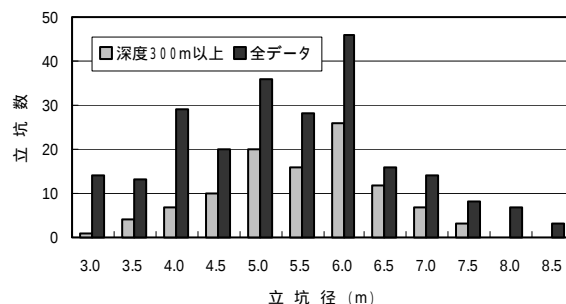
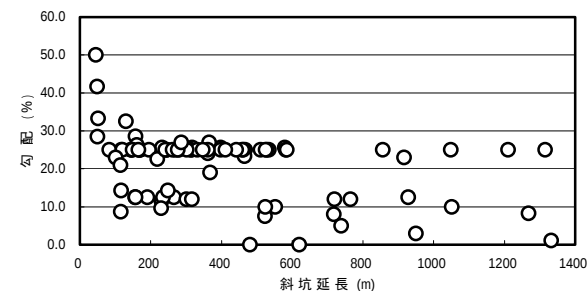
図 - 2 立坑径の度数分布 (深度 300m 以上と全データ)

図 - 3 斜坑延長と勾配の関係