

地下空洞を永久覆工する層厚吹付コンクリートの強度特性

九州電力(株) 小丸川発電所建設所 正会員○今林 達雄
九州電力(株) 小丸川発電所建設所 正会員 河原田寿紀
西日本技術開発(株) 地盤耐震部 正会員 永松 武則

1. まえがき

小丸川発電所は、宮崎県児湯郡木城町に建設を進める最大出力 120 万 kW (30 万 kW×4 台) の純揚水式発電所である。このうち、発電所は高さ約 48.1m、幅 24m、長さ 188m の地下発電所であり、掘削にはロックボルト、吹付コンクリートを主な支保部材とする NATM を採用している。吹付コンクリートは、開放された掘削面に型枠なしで直ちに施工することで、地山の風化や緩みを防止できることから、重要な支保部材の一つであるとともに、発電所のアーチ部や F 1 階以上の側壁では、通常の覆工コンクリートを省略し、最終覆工コンクリートになることから、吹付コンクリートの品質が非常に重要となる。

本稿では、吹付コンクリートの性状試験結果に基づく強度特性について述べる。

2. 吹付コンクリートの施工概要

発電所においては、図 1 に示すようにアーチ部で厚さ 32 cm (8 cm×4 層)、F 1 階以上の側壁部で厚さ 24 cm (8 cm×3 層)、F 1 階以下の側壁部で厚さ 16 cm (8 cm×2 層) の吹付コンクリートを施工する。吹付コンクリートは、プレーンコンクリート（以下、プレーン）と鋼繊維補強コンクリート（SFRC：以下鋼繊維）の 2 種類を使用し、図 2 に示すようにアーチ部では 3 層目に鋼繊維補強コンクリートを施工する。

3. 配合の選定

(1) プレーンコンクリート

プレーンコンクリートは、W/C=40, 45, 50, 55, 60% の 5 ケース、細骨材率 $s/a=55, 60, 65, 70\%$ の 4 ケース、計 20 ケースの配合試験を実施した。その結果、単位セメント量が既往実績内 (300 ~ 400 kg/m³) に収まり、現地はね返り試験ではね返り率が最小となった W/C=60%、 $s/a=60\%$ の配合を選定した。

(2) 鋼繊維補強コンクリート

鋼繊維補強コンクリートは、鋼繊維混入量に伴い強度は増加するが、これまでの実績から混入率が 1% を超えるとホースの閉塞を生じやすくなるため、施工性を考慮して鋼繊維混入率を 1% とした。表 1 に吹付コンクリートの示方配合を示す。

表 1 吹付コンクリートの示方配合

項目	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	鋼繊維
プレーンコンクリート	60	60	217	362	1,054	705	—
鋼繊維補強コンクリート	60	65	229	382	1,090	589	78.5

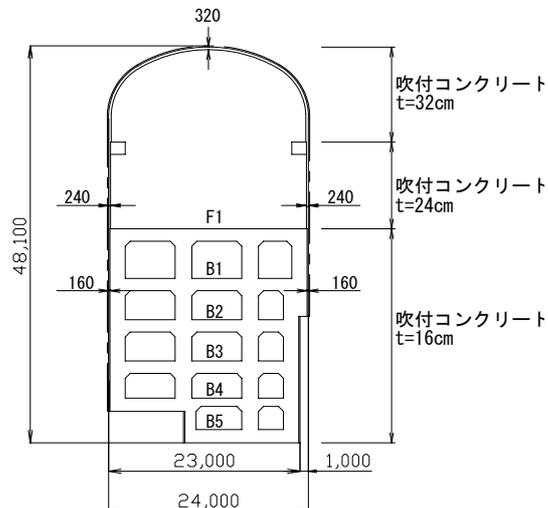


図 1 発電所断面図

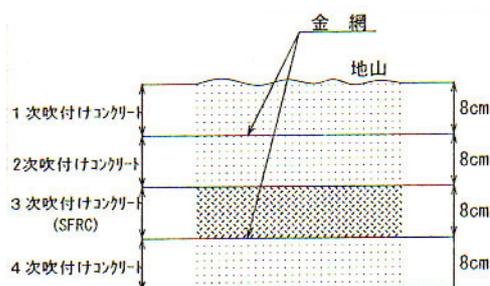


図 2 吹付コンクリートの施工概要図

キーワード：吹付コンクリート，地下空洞，強度性状

連絡先 〒884-0104 宮崎県児湯郡木城町大字石河内 1261 Tel : 0983-32-4024 Fax : 0983-32-4079

4. 強度試験

(1) 供試体

試験用供試体は、表2に示すように標準供試体（プレーン、鋼繊維）と吹付け供試体（4層、単層）を製作した。標準供試体はプレーンと鋼繊維の2種類、吹付け供試体は発電所アーチ部と同じ4層構造（プレーン3層+鋼繊維1層）とした4層供試体とプレーン1層のみの単層供試体の2種類である。

(2) 試験内容

標準供試体および4層吹付供試体は、圧縮・引張・曲げ強度試験を、単層吹付供試体は圧縮強度試験のみを行った。表3に試験結果を示す。

表2 供試体概要

供試体種類	内容	
標準供試体	プレーン	標準型枠に打ち込んで作製した供試体
	鋼繊維	同上
吹付け供試体	4層	専用のパネルに発電所アーチ部と同じ4層（32cm）を吹付けて製作した供試体
	単層	専用のパネルに1層（8cm）吹付けて製作した供試体

表3 強度試験結果

供試体種類		圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
標準供試体	プレーン	43.0	4.10	6.85
	鋼繊維	42.8	4.85	7.77
吹付け供試体	単層	22.8	—	—
	4層	15.4	1.84	2.74

5. 吹付コンクリートの強度特性

(1) 圧縮強度の比較

標準供試体の圧縮強度は、プレーンと鋼繊維とで大きな違いはなく約 43N/mm²である。一方、吹付け供試体の圧縮強度は、単層が 22.8N/mm²、4層が 15.4N/mm²であり、標準供試体では 40N/mm²を上回る配合であっても、コンクリートを吹付けることによって圧縮強度はそれぞれ 53%、36%にまで低下している。各供試体の平均単位容積質量を比較すると、標準供試体が 2,338 kg/m³、単層吹付け供試体が 2,245 kg/m³、4層吹付け供試体が 2,187 kg/m³となり、図3に示すように単位容積質量の減少に伴って圧縮強度も低下している。

吹付コンクリートは、高圧力で吹付ける施工方法上、骨材のはね返りが多く、また空隙を生じやすいために普通コンクリートに比べて単位容積質量が減少する。また、同じ吹付コンクリートでも多層構造とした場合は、層と層の間に空隙が生じることによって単層構造よりもさらに単位容積質量が減少し、強度が低下すると考えられる。

(2) 支保部材としての強度特性

発電所アーチ部を模擬した4層吹付け供試体は、圧縮強度が 15.4N/mm²、引張強度が 1.84N/mm²、曲げ強度が 2.74N/mm²である。発電所空洞は、最終的には吹付コンクリートとアンカーで支保することから、吹付コンクリートをアンカーで両端固定される梁部材（厚さ：32cm、スパン長：アンカー間隔 4m）と想定すると（図4）、岩塊の抜け落ちで発生する外力に対して、吹付厚さが 32cm の場合は約 280kN（奥行き約 2.4mに相当）まで支持できることになる。

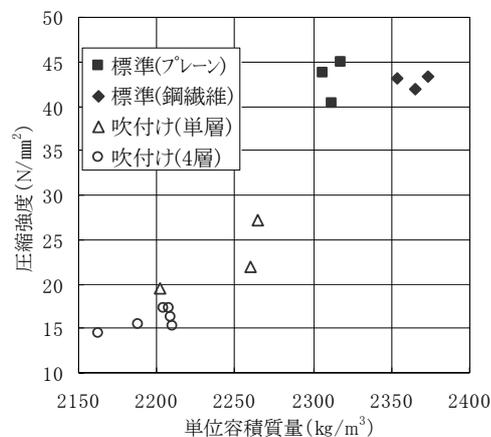


図3 単位容積重量と圧縮強度の関係

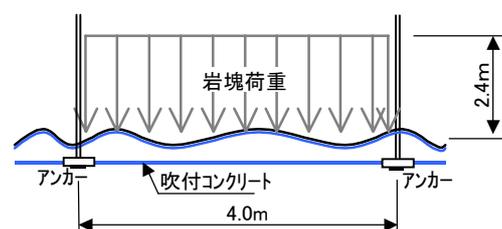


図4 吹付コンクリートと岩塊荷重

6. おわりに

今回、吹付コンクリートの性状試験を行うことで、強度特性についてのデータが得られた。地下発電所空洞は平成13年4月に掘削工事に着手し、平成15年2月に掘削完了した。掘削中の吹付コンクリートについては、品質面、作業面ともに順調に施工を進めることができ、今回の試験結果をもとに、岩盤補強の検討等に活用することもできた。今後、地下発電所は本体構築工事に着手し、平成19年7月の初号機運開に向けて工事を進める予定である。