

建設施工技術要覧

建設施工技術の現状と動向

社団法人 日本海洋開発建設協会
海洋工事技術委員会編

1981年8月

社団法人 日本海洋開発建設協会

建設施工技術要覧

定価(セット価) 14,000 円

1981年8月1日	1版1刷	発行	© 編 者	社団法人 日本海洋開発建設協会 海 洋 工 事 技 術 委 員 会
		発行者	社団法人 日本海洋開発建設協会 専務理事 青 木 義 雄	
		発行所	社団法人 日本海洋開発建設協会 〒 104 東京都中央区八丁堀 2-5-1 東京建設会館内 03 (553) 4095	

発売元 技 報 堂 出 版 株 式 会 社

〒 107 東京都港区赤坂 1-11-41
第 1 興和ビル 03 (585) 0166

落丁・乱丁はお取替いたします

印刷・海外印刷 製本・鈴木製本

序

四方を海に囲まれ、狭い国土に膨大な人口をかかえる日本では、海洋の開発・利用こそ、早急に解決しなければならない重要な課題である。日本海洋開発建設協会は、これからの海洋開発事業に必要な建設技術の進歩向上に努め、建設事業の推進を図ることを目的として、昭和48年に創立された建設大臣、運輸大臣共管の社団法人である。当協会の活動のうち、技術部門を担当する海洋工事技術委員会では、建設業および関連企業からなる会員各社の技術力を結集して、自主研究、自主的活動を行うほか、建設技術に関する各種の調査・実験・研究を関係官公庁等から委託を受けて実施し、成果を収めてきた。

こうした活動の一つとして、「施工技術の動向と展望」をテーマに一連の調査を行った。その内容は、海洋の枠にとらわれず、海上および陸上工事における基本的工種に関し施工法の現状を調査したもので、調査内容が広汎にわたることから海洋工事技術委員会のもとに建設技術研究会を設置し作業に当らせた。調査成果は、昭和55年3月に報告書としてまとめられ、実務にある方々の間で好評を得、その公刊を望む声が多く寄せられた。そこで、海洋工事技術委員会において、さらにかんがりの加筆・再編を行い、ここに「建設施工技術要覧」として刊行の運びとなった。

本書の特徴は、第一に、施工技術を分類・統合し、また、これらの工事实績を定量的に把握することにより、個々の技術の位置づけを明確にした。第二に、その施工技術を現在と過去の実績を対比することにより、発展の経緯を知り、将来の動向を推理する便に供するものとした。第三に、上記のように技術的・時系列的位置づけの把握を重視して、論旨を簡潔にするため、個々の施工法についての詳細な記述は資料編として別冊にした。資料編では、各工法につき出来得る限り適用範囲、施工能力、実績等を記載し、実務に携わる技術者の活用の便を配慮した。

これらの調査は、委員各社より提供された実績資料等を集大成したものであり、多数・多方面の会員を擁した当協会ならではの出版物であると確信する。土木の設計、施工、開発の担当者の座右の書として広く活用され、その一助となれば、関係者一同の喜びこれにすぐるものはない。また、当協会の概要を巻末に付したので、協会活動の一端を御理解いただければ幸甚である。

最後に、本書の刊行に関与され、御尽力いただいた各位に対し、厚く御礼を申し述べる。

1981年3月

社団法人 日本海洋開発建設協会
海洋工事技術委員会
委員長 安藤道夫

まえがき

この「建設施工技術要覧」は、次のような事項を編纂の基本方針とした。すなわち、

1. 本要覧は、要覧全体の要旨とも言うべき「本文」と、個々の施工法等の詳細について記した「資料編」の二分冊をもって構成した。また、両者の対比が容易なように配慮した。
2. 要覧本文では、具体的データに基づいて近年の施工技術の発展経緯を考察することにより、施工技術の動向と位置づけを明らかにし、さらに現在求められている課題を探ろうとしている。
3. 資料編では、掘削工、基礎工、構造物建設、解体工、施工オペレーションシステム、調査・検測、および環境対策の7項目に分類し、それぞれの最先端にある工法、機械等の現況調査結果を、整理・収録した。また、実用技術以外に、研究開発段階にあるものや鉱山・石油開発など周辺分野の技術についても、適宜言及した。
4. 執筆・編集に当っては、教科書的な解説よりも、技術レベルを客観的かつ具体的に把握し得ることを重視し、施工法等の一般的な説明は他書に譲り、でき得る限り適用範囲、施工能力、実績等を記した。
5. 記述は冗長を避け、図表を多用しできるだけ簡潔にまとめ、実務書として使いやすいコンパクトなものとした。

本要覧のための調査に着手してから2年余である。それほど長い年月ではないが、その間にも各分野での研究あるいは技術的進歩は著しく、最近の新工法や研究成果つにいても極力取り入れたつもりではあるが、なお不十分な点もある。また、多岐にわたる施工技術のうち今回取り上げられなかったものもあり、今後の改訂に待つべき点も少なくない。これらについて読者の寛恕を乞うとともに、より完璧なものとするために、各位の御助言と御批判とをお願いする次第である。

1981年3月

海洋工事技術委員会建設技術研究会
委員長 河野 彰

編 纂 機 関

海洋工事技術委員会

委員長	安 藤 道 夫	三 井 建 設 協	同	湯田坂 益 利	大 成 建 設 協
前委員長	戸 田 守 二	戸 田 建 設 協	同	木 庭 宏 美	東 洋 建 設 協
副委員長	板 尾 純 一	東亜建設工業協	同	鑪 信 政	戸 田 建 設 協
委 員	立 川 長 坦	青 木 建 設 協	同	加 川 道 男	飛 島 建 設 協
同	河 野 彰	協 大 林 組	同	北 村 浩 行	前田建設工業協
同	小 原 寔 人	協 奥 村 組	同	斎 藤 利 行	三 井 建 設 協
同	島 田 安 正	鹿 島 建 設 協	前 委 員	奥 田 昌 宏	五 洋 建 設 協
同	田 中 壬子也	協 熊 谷 組	同	氏 家 敏 行	大 成 建 設 協
同	赤 沢 憲 一	五 洋 建 設 協	同	林 敏 明	三 井 建 設 協

建設技術研究会

委員長	河 野 彰	協 大 林 組	委 員	萩 野 秀 雄	東亜建設工業協
副委員長	氏 家 敏 行	大 成 建 設 協	同	加 藤 敏 夫	前田建設工業協

(第1分科会)

主 査	下 村 嘉平衛	協 間 組
委 員	中 村 正 邦	不 動 建 設 協
同	篠 塚 政 之	鉄 建 建 設 協
同	橋 本 司	戸 田 建 設 協
同	斉 藤 正 忠	西 松 建 設 協
同	北 脇 督 三	協 竹 中 土 木
前 委 員	鎌 田 英 男	不 動 建 設 協
同	戸 沼 昭 平	鉄 建 建 設 協

(第2分科会)

主 査	赤 沢 憲 一	五 洋 建 設 協
委 員	陳 内 直 樹	青 木 建 設 協
同	山 口 正 記	協 熊 谷 組
同	鈴 木 功	飛 島 建 設 協
同	松 井 重 芳	日本国土開発協

(第3分科会)

主 査	角 田 知 己	大 成 建 設 協
委 員	竹 内 幹 雄	協 奥 村 組

(第4分科会)

主 査	中 村 靖	協 大 林 組
委 員	姫 路 昭 夫	清 水 建 設 協
同	佐 伯 讓	東 洋 建 設 協
同	伊 藤 康 博	三 井 建 設 協

(第5分科会)

主 査	原 田 宏	鹿 島 建 設 協
委 員	宇 賀 克 夫	川 崎 重 工 業 協
同	水 野 高 信	新 日 本 製 鐵 協
同	楠 本 研 一	三 井 造 船 協

幹 事	清 水 仁	協 大 林 組
同	綾 田 巖	五 洋 建 設 協
同	岩 澤 惇	大 成 建 設 協
同	喜 志 恭 博	大 成 建 設 協
同	有 岡 謙 一	東 洋 建 設 協
同	浜 野 哲 夫	協 間 組

事 務 局

専務理事	青 木 義 雄	常務理事	原 田 章	常務理事	小 沼 敬 八
常務理事	横 戸 實	同	近 藤 基	同	高 橋 基 次

目 次

第 1 章 掘 削 工

1.1	明り掘削	1
1.1.1	土工機械	1
	(1) 土工機械の現状	1
	(2) 今後の課題	3
1.1.2	発 破	3
	(1) 爆 薬	3
	(2) 発 破	3
1.1.3	大量土砂採取および運搬	5
	(1) 埋立造成	5
	(2) ロックフィルダム	5
	(3) 露天掘採掘	8
1.2	トンネル掘削	9
1.2.1	山岳トンネル	9
	(1) 世界における日本のトンネル技術	9
	(2) 施工限界の拡大	10
	(3) 省力化・急速施工化の動向	11
	(4) 安全および環境問題への対応	12
1.2.2	シールドトンネル	13
1.3	水中掘削	14
1.3.1	一般土質の掘削	15
1.3.2	硬土盤および岩盤掘削	16
	(1) 破岩船および浚渫船	17
	(2) 大口径岩盤掘削	18
1.3.3	水中発破	19
	(1) 水中発破の推移	19
	(2) 穿孔機および海上足場	19
	(3) 爆薬および発破法	21
1.4	特殊な掘削および運搬工法	21
1.4.1	特殊な掘削工法	21
	(1) 在来工法の問題点と開発動向	21
	(2) 火炎ジェット	22
	(3) ウォータジェット	23
	(4) 水圧破碎	23

(5) 膨張破碎	24
1.4.2 特殊な運搬工法	24
(1) スラリー輸送	24
(2) 空気カプセル輸送	25
(3) 水力カプセル輸送	26
(4) 真空輸送	26
(5) 空気輸送	26
(6) 新しい輸送システム	26

第 2 章 基 礎 工

2.1 軟弱地盤改良	29
2.1.1 軟弱地盤改良工法の現況	29
2.1.2 置換工法	31
2.1.3 密度増加工法	31
(1) パーチカルドレーン工法	31
(2) サンドコンパクションパイル工法	32
2.1.4 固結工法	34
(1) 深層混合処理工法	34
(2) 薬液注入工法, セメントグラウト工法	35
2.2 杭基礎	35
2.2.1 杭基礎の現況	35
2.2.2 既製杭	36
(1) 鋼杭	37
(2) コンクリート杭	37
(3) ネガティブフリクション(負の摩擦力)対策	38
2.2.3 打込み杭	38
(1) 打込み機械	38
(2) 大径長尺杭の施工実績	39
(3) 騒音・振動の低減	39
2.2.4 埋込み杭	40
2.2.5 場所打ち杭	41
(1) 場所打ち杭の推移と動向	41
(2) 場所打ち杭の施工限界	42
2.3 ケーソン基礎	44
2.3.1 オープンケーソン	45
2.3.2 ニューマチックケーソン	46
(1) 設備機器の改善	46
(2) 施工限界の拡大	47
2.3.3 特殊ケーソン	48
2.4 地下連続壁	49
2.4.1 地下連続壁工法の推移と現状	49

2.4.2	今後の課題	51
2.5	アースアンカー	53
2.5.1	アースアンカーの現状	53
2.5.2	今後の課題	54
2.6	水中マウンド造成	55

第 3 章 構造物建設

3.1	コンクリート工	59
3.1.1	コンクリート材料	59
(1)	セメントおよび混和材料	59
(2)	骨材	61
(3)	レデーミクストコンクリート	62
3.1.2	施工機械	62
(1)	コンクリートミキサおよびプラント	62
(2)	打設機械	63
(3)	RCD工法	64
3.1.3	型枠支保工の省力化	65
3.1.4	施工限界の拡大	66
(1)	高所へのコンクリート打設	66
(2)	地下工事におけるコンクリート打設	67
(3)	大水深下における大量水中コンクリート	67
(4)	酷暑・酷寒下における施工	68
3.2	プレハブ技術	68
3.2.1	橋梁・高架橋	69
3.2.2	各種陸上施設	71
3.2.3	沈埋トンネル	72
3.2.4	栈橋・シーバース	74
3.2.5	海洋構造物	74
(1)	海中基礎	74
(2)	コンクリート製海洋構造物	75
(3)	鋼製プラットホーム	77
3.3	重量物運搬・設置	77
3.3.1	海上運搬・設置	77
(1)	作業船等	77
(2)	曳航・運搬	78
(3)	係留	78
(4)	沈設	81
(5)	海上架設	83
3.3.2	陸上運搬・設置	84
3.4	海底パイプライン	85

3.4.1	海底パイプラインの現況	85
3.4.2	施工法および敷設船	86
(1)	敷 設	86
(2)	埋 設	87
(3)	補 修	88

第 4 章 解 体 工

4.1	コンクリート構造物解体	91
4.2	鋼構造部材水中切断	92

第 5 章 施工オペレーションシステム

5.1	施工オペレーションシステムの技術の現状	97
5.1.1	概 要	97
5.1.2	陸上工事における施工オペレーションシステム	97
5.1.3	海上、海中工事における施工オペレーションシステム技術	98
5.2	問題点と今後の展望	100

第 6 章 調 査 ・ 検 測

6.1	測 量 機 器	103
6.1.1	陸 上 測 量	103
6.1.2	海上および海中測量	103
(1)	海 上 測 位	104
(2)	海 中 測 位	105
6.1.3	定 点 保 持	106
6.2	水 中 検 測	107
6.2.1	潜 水	107
6.2.2	水 中 観 察	108
6.2.3	情 報 伝 達	108
6.3	海中ボーリング	108
6.3.1	海中ボーリング	109
6.3.2	海底サンプリング	110
6.4	広 域 調 査	111
6.4.1	広域地形測量	111

6.4.2 物理探査	112
(1) 地震探査	112
(2) 音波探査	112
(3) 電気探査	113
(4) 磁気探査	113
(5) 放射能探査	113
(6) 重力探査	114
6.4.3 リモートセンシング	114
(1) 航空機によるリモートセンシング	114
(2) 人航衛星によるリモートセンシング	114
6.5 その他の調査・検測	118

第 7 章 環 境 対 策

7.1 騒音振動防止対策	121
7.2 水質汚濁防止対策	122
7.3 大気汚染防止対策	124

第 1 章 掘 削 工

近年、月間施工量が数 10 万 m^3 をこえる大規模な掘削工事や、都市内の密集地での工事、長大トンネルの施工、あるいは沖合の水深の深い地点における海底地盤の掘削など、掘削工は質的にも量的にも新たな対応を求められている。

この章では、掘削工を明り掘削、トンネル掘削、水中掘削に分類し、関連分野として鉱山等も含め、かつ若干の海外の事例や研究段階にある新しい掘削・運搬技術も加えて、掘削技術の推移と動向を概観する。

なお、個々の施工法や施工機械の詳細については、別冊資料編「第 1 章 掘削工」を参照されたい。

1.1 明り掘削

1.1.1 土 工 機 械

(1) 土工機械の現状

土工機械の発達は日進月歩の状況にあり、工事の大規模化・急速施工化の要請に応じて高出力化・大型化が指向されている。

日本の建設機械生産額の約 36% (昭和 53 年度実績) を占めるトラクタ系土工機械についていえば、32~45 t 級の大型ブルドーザはすでに普及段階にあり、さらに最近では 68 t 級 (リッパ付 76 t 級)、86 t 級などの世界最大クラスの超大型機が使用され始めている。また、ショベル (ローダ)・ダンプ方式の大量土砂運搬では、容量 7.6~9.6 m^3 級の大型ホイールローダと 32~45 t 級重ダンプトラックといった大容量機械の組合せが一般化しており、海外の大型工事では、100 t 級以上の超大型ダンプトラックも多用されている。

一方、大規模な埋立造成や海外の大型ロックフィルダムなどでは、採取地までの距離が長くなるにつれ、専用ベルトコンベヤを他の積み込み・運搬機械との組合せで採用する事例が増加する傾向にある。日本での実績は、神戸市西部埋立に使用された能力 11 000 t/h のものが最大であるが、試作機ではベルト幅 3 m、能力 40 000 t/h の実績がある。機長もスチールコードベルトの開発により 1 台で 10 数 km 程度のもので一応製作可能な段階にあり、今後の大型機の開発は、建設プロジェクトのニーズに応じて進められることになろう。また、定置式ベルトコンベヤの短

表-1.1 大型土工機械の実績（一部鉱山用も含む）

		国 内	海 外
ブルドーザ		・32～45 t級（D8～D9級）：普及 ・68 t（リッパ付き 76 t）：長崎空港（新大村空港）造成等を使用 ・86 t級：高浜原子力発電所敷地造成等を使用	・86 t級（アメリカ） ・76 t級（ソ連南ヤクト炭田）
モータスクレーパ		・33～45 m³級：国内稼働台数 50 台以上	
ショベル系掘削機		・3～4 m³級：土木工事用大型機として普及 ・10～20 m³級ショベル：輸出入、鉱山用	・10～20 m³級ショベル：ダム工事（Tarbela ダム等）鉱山等に普及 ・鉱山用特殊大型機 125 m³ショベル：南ヤクト炭田（ソ連） 163 m³ドラグライン：Central Ohio 炭鉱（アメリカ）
ホイールローダ		・7.6 m³級：ロックフィルダム等に多用（岩屋ダム、手取川ダム、長崎空港など） ・9.2 m³級：新高瀬ダム、十勝ダムほか ・9.6 m³級：採石、石灰石採掘等で使用	・7.6～11.5 m³級：ダム、露天掘鉱山等に普及 - Mica ダム（カナダ）では10.7 m³級を使用 - 炭鉱用では28 m³の大型機あり
ダンプトラック		・32 t級：ロックフィルダム等の運搬の主力 ・45 t級：岩屋ダム、新高瀬ダム、長崎空港ほか ・68 t級：奥清津カツサダム ・120 t級：輸出入	・100～230 t級：大型ダム、鉱山等で使用 110 t級：Tarbela ダム（パキスタン） 120 t級：Mica ダム（カナダ） 230 t級：Sierrit 銅山（アメリカ）
バケットホイールエキスカベータ		・2 100 m³/h：釜利谷開発 ・1 300 m³/h：浅間山土砂採取 ・720～1 260 m³/h：鹿島港	・240 000 m³/日：西ドイツ褐炭露天掘採掘 ・14 000 m³/h：東ドイツ褐炭露天掘採掘
シフタブルコンベヤ		・4 800 t/h：釜利谷開発 ・3 200 t/h：神戸港六甲埋立 ・2 000 m³/h：鹿島港	・23 600 m³/h：西ドイツ
ベルトコンベヤ	大容量	・11 000 t/h：神戸港ポートアイランド埋立（ベルト幅 2.1 m） ・40 000 t/h：神戸港ポートアイランド埋立（ベルト幅 3.0 m、実験用試作機）	・12 000 t/h：Tarbela ダム（パキスタン） ・14 000 t/h：バースリバーダム（カナダ） ・15 300 t/h：西ドイツ褐炭露天掘採掘
	長大機	・機長 7 965 m：鹿島港（メインコンベヤ）	・機長 12 000 m：サワラリン鉱山（スペイン）（2 000 t/h、ベルト幅 1.0 m）

所とされていた移動の困難さも、シフタブルコンベヤやバケットホイールエキスカベータの開発に伴って、これらとの組合せによりある程度緩和されており、利用範囲が拡大する傾向にある。

表-1.1 に、最近の代表的な大型土工機械（一部鉱山用機械も含む）の現況を集約して示す。

他方、上述した大型機械と並行して、従来の手作業の分野をカバーする小型の省力機械の開発も顕著である。重量 2～3 t 級以下の超小型の多目的に使用できる汎用土工機械が出現し、急速な普及をみている。また、近年発達の著しい油圧機器や制御技術が大幅に採用される傾向にあり、運転操作の容易な油圧式ショベルの普及や変速の必要のないパワーシフトブルドーザなど操作性の向上が著しい。さらに、機械の整備の面では重要な部分はユニットコンストラクションを採用して現場での修理に手間を掛けないですむような方式が増えてきており、今後さらに普及・向上が図られていくものと予想される。

(2) 今後の課題

省力化、高能率化、耐久性の向上等に加えて、安全性や環境対策がよりいっそう重視される傾向にある。1970年代以降低騒音、低振動型のブルドーザやショベルの開発が進められ一応の成果を得るに至っている。しかし、騒音、振動等の低減に対する要求は次第に厳しさを加えつつあり、さらにこれらの対策には、いずれもコストアップや能率低下を来す要素を含んでおり、今後いっそうの開発努力が望まれている。

また、機械の安全性の向上やオペレータの居住性・操作性の向上については、諸外国ではオペレータユニオンの強い要請などからゆるがせにはできない状況になってきており、国際的視野からはISO（国際標準化機構）において議論が進められ、順次ISO規格として制定されてきている。わが国でも、労働安全衛生法および関連諸法規の整備に伴って、次第に高水準のものが求められ、社会的にも安全性や労働衛生の向上が環境問題と同様にクローズアップされていく傾向にあり、こうした面での技術開発も、今後の重要な課題の一つとなろう。

さらに長期的には、省資源・省エネルギーの要請を背景に、低燃費化、効率化などが避けて通ることのできない問題としてその解決を求められることになるだろう。

1.1.2 発 破

(1) 爆 薬

自由世界の爆薬消費量の約1/2を占めるアメリカでは、1978年の全爆薬消費量178万tのうち、ANFO（未処理硝安も含む）が83.4%、含水爆薬が11.0%を占め、これらの両爆薬がダイナマイトにとって代る勢いを示している。この傾向は世界的なもので、わが国でも図-1.1に示すように、1970年代以降ANFOのウェイトが急速に増してきており、特にその欠点である後ガスの影響が少ない明り発破では、ANFOが主力爆薬となっている。また、含水爆薬は、ダイナマイトの後ガスの問題を改善したもので、1960年アメリカに出現し、近年わが国にも導入され、需要が増す傾向にある。ただ、含水爆薬にも、爆力の点や寒冷地での性能劣化等に若干問題が残されており、その改善が進められている。なお、起爆には従来から電気雷管が一般的であるが、近年耐静電気雷管の開発が進み、1979年から製品化されるに至っている。

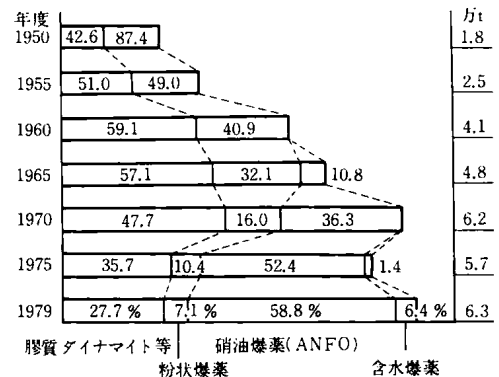


図-1.1 日本の産業用爆薬生産高の推移（日本産業火薬会調）

(2) 発 破

表-1.2に最近の代表的な大規模明り発破の事例を示す。これらの最近の明り発破の特質は、採掘規模の大型化に伴い、施工能率の改善に努力が傾注されている点にあるようで、大口径穿孔による大型ベンチ掘削が主力工法として定着しつつある。現在、国内のロックフィルダムや石灰石鉱山で使用されている大口径穿孔機はφ165～φ225mmクラスの輸入機が主力であるが、海

表-1.2 最近の代表的な発破によるロック材採取

工事名	ロック採取量 (万 m ³)			工 法	岩 質	穿 孔 機 械	工 期 (ロック採取)	備 考
	ロック 総 量	月間平均	月間最大					
大雪 ダム	330 (162)*	(1回当り) 18	(1回当り) 35	坑道式 (ベンチカッ ト併用)		クローラドリル	1971-6~ 1974-7	坑道延長 5 531 m 薬 室 数 378 装薬量 0.41 kg/m ³
岩屋 ダム	468	25	59	ベンチカット (ベンチ高 10~20 m)	石英 斑岩	ダウンザホールドリルφ165 (補助：クローラドリル φ60~75)	1974-5~ 1975-11	装薬量 0.238 kg/m ³
瀬戸 ダム	283	15	28	ベンチカット (ベンチ高 20 m)	頁岩 砂岩	ロータリードリルφ165 (補助：クローラドリル φ75~90)	1975-6~ 1976-12	装薬量 0.304 kg/m ³
三保 ダム	500		65	ベンチカット (ベンチ高 15 m)		ロータリードリルφ255 (予備：クローラドリル φ125 補助：クローラドリル φ75)	1974-5~ 1978-6	
手取川 ダム	786		78.5	ベンチカット	礫 岩 片麻岩	ロータリードリル 40 R(φ171~229) 50 R(φ229~310) (補助：クローラドリル)	1975-8~ 1978-10	
十勝 ダム	284	15		ベンチカット	角斑岩 粘板岩	ダウンザホールドリルφ165 (補助：クローラドリル)	1975-10~ 1981-6	
長崎空港 (新大村 空港)	1 543	77	166	ベンチカット (ベンチ高 15 m)	玄武岩	ダウンザホールドリルφ165 (補助：クローラドリル φ60~80)	1971-12~ 1976-9	
鳥形山 石灰石 鉱 山	—	130	—	ベンチカット (ベンチ高 15 m)	石灰石	ダウンザホールドリル φ154~203 (補助：クローラドリル φ70, φ115)	—	
外 国	・ロックフィルダム，露天掘鉱山ではφ200~380級の大口径ロータリードリル，ダウンザホールドリルが主力。 大型穿孔機としてはφ432，φ445級も使用。 ・ベンチ高は12 m (40 ft) 程度が標準。ただし，ベンチ高60 m (200 ft, アメリカ Union Furnace 石灰石鉱山) の例もある。							

(注) * 坑道式発破による爆砕量を示す。

外ではφ300 mm以上の大口径穿孔が一般化しており，φ432 mm，φ445 mmといった大型機も用いられている。

なお，従来ベンチカットと並んで多用されていた坑道式発破は，騒音・振動等の関連から適用される事例が少なくなっているが，気象・天候に左右されずに施工できる利点があり，条件によっては有効に利用できる。表-1.2に示した大雪ダムは，その代表的な適用例である。

一方，発破技術そのものについては，従来に比べて特に大きな変化があったものは少ない。その中であって，最近研究開発が促されているものの一つに，発破振動，騒音の低減がある。この対策工法としては，緩速爆薬の利用，MS電気雷管を使用したコントロールブラスティング法などが行われており，ある程度の振動・騒音の軽減は可能になっている。これらの対策工法の必要性は，今後ますます高まってくるものと思われるが，現段階では工費および能率の面でかなりの

マイナスを覚悟せざるをえないのが現状である。

また、最近鉾山分野では、ベンチ発破において、破碎性の改善効果が期待できるワイドスペース発破法（詳細は資料編参照）が、宇部刈田石灰石鉾山に導入され、好結果が得られ注目されている（石灰石協会「昭和 53 年度業績賞」受賞）。今後の進展によっては、建設分野へのワイドスペース発破法の応用も検討課題の一つとなろう。このほか、大規模な採掘現場では多数の切羽の総合的な工程・作業管理が、施工の効率を向上するうえで重要な要素であり、その改善が指向されている。

1.1.3 大量土砂採取および運搬

埋立造成における土砂採取・運搬、ロックフィルダムにおける盛立材採取・運搬および露天掘鉾山などが、陸上で大量の土砂・岩石の採取・運搬を行う主なもので、以下にその代表的な事例を述べる。

(1) 埋立造成

大規模な埋立造成の実施例としては、国内では、神戸港（土量 20 000 万 m^3 ）、大阪南港（土量 10 800 万 m^3 ）、扇島（土量 8 500 万 m^3 ）、横浜港大黒埠頭（土量 5 200 万 m^3 ）、長崎空港（土量 2 500 万 m^3 ）、大分港（土量 11 200 万 m^3 ）などが代表的なもので、このほか東京港でも継続的に大規模な埋立が実施されている。また、海外においてわが国の建設会社が参画した主なプロジェクトとしては、シンガポール東海岸埋立Ⅰ期～Ⅶ期（土量 7 600 万 m^3 ）、シンガポール・チャンギー空港埋立造成（土量 5 000 万 m^3 ）、カタール埋立造成（土量 3 000 万 m^3 ）などがあげられる。

表-1.3 に、国内における主な大規模埋立工事における採土・運搬実績および使用された主要施工機械を要約して示す。運搬方式としては、ショベル（ローダ）・ダンプトラック方式、ベルトコンベヤ方式、土運船による海上運搬、ポンプ式浚渫船による方法などの各種の方法が条件に応じて選択・組合せて適用されている。長距離大量運搬の事例としては扇島埋立工事が代表的なもので、千葉県富津の浅間山採土場から約 3.5 km のベルトコンベヤで積出し栈橋まで搬出し、さらに 5 000～8 000 t 級大型土運船 19 隻で東京湾を横断して海上輸送する方法がとられ、最大月間運搬実績は 280 万 m^3 を記録した。また、表-1.3 に例示した長崎空港（新大村空港）は、埋立材料の大半を玄武岩質の硬岩によったほかにあまり例をみないもので、大型穿孔機械と大型土工機械を使用して最大月間掘削量 166 万 m^3 の実績を示した。

近年、埋立材料の採取適地は年々逼迫の度を加えてきており、今後土取場の条件によってはこうした岩を主材料とするケースも増してくることが予想される。

(2) ロックフィルダム

既往の代表的な大規模ロックフィルダムにおける盛立材料の採取・運搬事例を表-1.4 に要約して示す。山岳地帯におけるダム建設では、積雪等により予定した施工日数に狂いが生じやすく、想定を上まわる工事能力を要求することが多いので、工事量の変化に対応しやすいショベル（ローダ）・ダンプトラック方式による運搬が最も一般的な方法となっている。この方式による海外での大規模な施工例としては、カナダの Mica ダム（1975 年完成）があげられる。この工事で

表-1.3 大規模な埋立造成工事の実施例

工事名称	造成面積 (ha)	平均水深 (m)	埋材	立料	採土・運搬量(万m ³)			運搬距離(km)			主力施工機械				工期	備考
					全土量	年間最大	月間最大	陸上	海上	掘削	積込	運搬(陸上)	運搬(海上)	揚土		
須磨高倉山山砂採取運搬工事 (神戸港埋立)	1016	—12	山砂	山砂	20000	780	(3.5/日)	1.3	18.0	ブルドーザ 27~44t級	ホイールローダー 2~8m ³ 級 ブルドーザ	ベルトコンベヤー 幅2.1m (ダンプトラック クレーン集土用)	ブッシャバー 1800t×2隻 4000t×1隻	バケットホイール式アンローダー 1600t/h シフタブルコンベヤー 3200t/h	1966~1985	水深-2mまでは土運船より直接投下
鹿島港土砂運搬工事	180	掘込	浚渫土砂	浚渫土砂	—	—	70	8.0	—	(ポンプ船)	バケットホイールエキスカベーター 720~1260m ³ /h×4台	ベルトコンベヤー 幅1.2m 2400m ³ /h	—	—	1971-4~1974-8	陸上に仮置した浚渫土砂の運搬
浅間山土砂採取運搬工事 (扇島埋立)	515	—10	山砂	山砂	8500	2500	280	3.5 3.6 (2系列)	32.4	モータスクレーナー バケットホイールエキスカベーター ブルドーザ	34m ³ 級 1300m ³ /h 1400t/h 30~40t級	ベルトコンベヤー 2系列 4800m ³ /h 5400m ³ /h	ブッシャバー 5000t×9隻 7000t×1隻 8000t×1隻 自航式バージ 5000t×8隻	ポンプ船で2度吹 2000~9000PS 13隻	1971-11~1975-4	水深-3mまでは土運船より直接投下
長崎空港 (新大村空港)	136	—15	硬岩 (玄武岩が主材料)	硬岩 (玄武岩が主材料)	2500	—	166 (平均77)	1.0~1.4	—	ダウングラドル φ115, φ165 ブルドーザ 35~67t級 (リッピング集土)	ホイールローダー 4.6m ³ 級, 7.6m ³ 級	ダンプトラック 32t, 45t級	—	—	1971-12~1976-9	硬岩を主体とする大規模埋立
大分港 臨海工業造成	1599	—6	浚渫土砂	浚渫土砂	11200	—	130	—	1.5	ポンプ船	2000~6000PS級 排砂管径: φ670~φ760mm	—	—	—	1971~	建設中