

ポンプ圧送性評価ソフト

【ソフトの概要】

2016年版

監修 社団法人 日本建築学会近畿支部材料施工部会

発行 近畿生コンクリート圧送協同組合

2016年3月

第1章 ポンプ圧送性評価ソフトの概要

1. はじめに

超高層建物などに代表されるようにコンクリート構造物の大型化が進み、コンクリート圧送も高所圧送、長距離圧送、および高強度コンクリートや高流動コンクリートなどの特殊なコンクリートの圧送が増加し、高度な圧送技術が必要とされることが多くなった。良質のコンクリート構造物を提供するためには、コンクリートの打ち込み計画を行うことが重要であり、その中でもポンプの圧送性について正しく評価することが大切である。

圧送計画時にポンプの選定を行う際の圧送負荷算定の一般的なフローとそれに関わる特性要因を図-1に示す。ポンプに加わる圧送負荷は、さまざまな要因による。またそれぞれの要因も、①躯体形状やコンクリートの強度など主に設計者によって定められるもの、②ポンプや生コン車の配置計画、配管径路、打設時の人員配置など主にゼネコンによって決定されるもの、③コンクリートの使用材料や調合など主に生コンプラントによって決定されるもの、④ポンプの能力など主にポンプメーカーや圧送業者によって決定されるものが存在している。そのため、ポンプ圧送計画を検討する際には、ゼネコン、ポンプ圧送業者、コンクリート製造業者など関係各者間で十分に検討する必要がある。本プログラムはその討議を行うための共通のツールとして利用することを目的として、各現業担当者がポンプ圧送計画を簡便に行えるように開発した。

本ソフトは、ポンプ圧送の際に参考となる技術資料を提供するものである。各利用者は各自の責任において判断し、有効に活用して頂きたい。

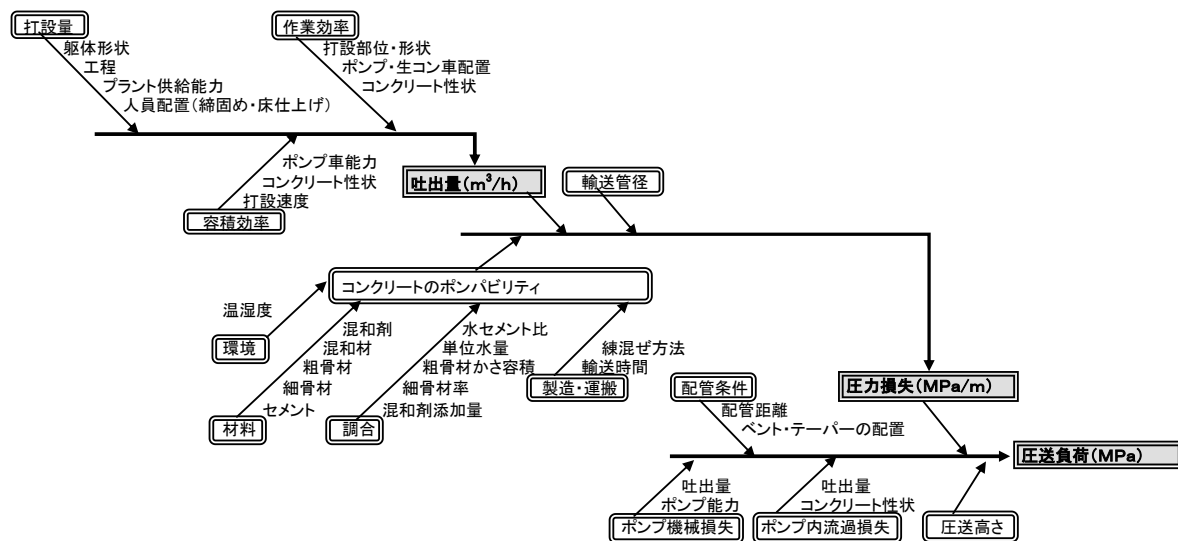


図-1 圧送負荷

2. ソフトの概要

図-2にソフトのフローを示す。本ソフトは、以下の2通りの機能を有している。

- ① 圧送検討書の作成
- ② 測定した主油圧から圧送限界を検討

圧送検討書の作成機能では、コンクリート打設計画概要と使用するコンクリートの情報を入力することによって、ポンプに加わる圧送負荷を自動的に算定し、必要なポンプを簡易に選定することができる。また、必要な配管種別が自動的に選択される。

測定した主油圧から圧送限界を検討する機能では、コンクリートポンプ圧送作業時に測定したポンプ主油圧から圧力損失を算定し、そのポンプで圧送できる限界を算定できる。なお、圧送負荷の算定は、コンクリートポンプ工法施工指針・同解説（日本建築学会）に準拠している。

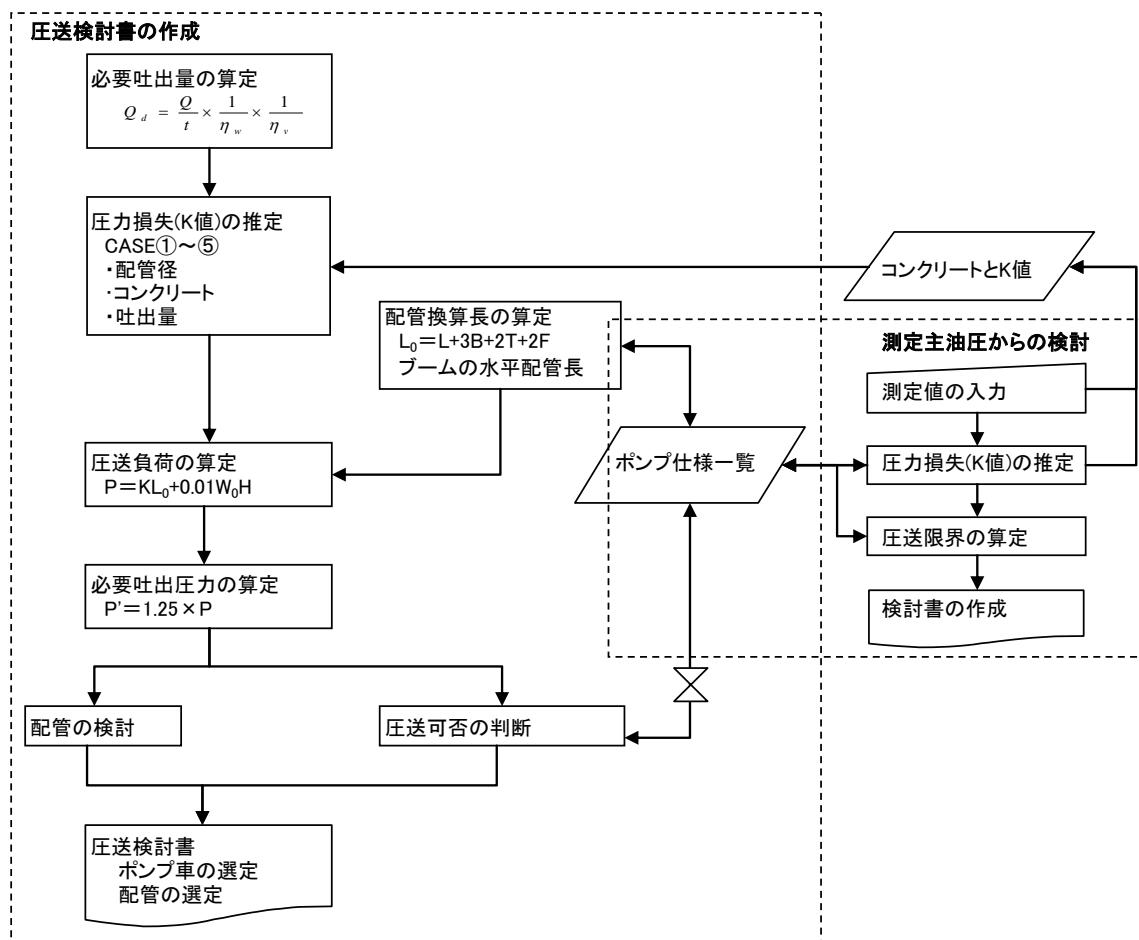


図-2 ソフトのフロー

3. 圧送検討書の作成

3.1 必要吐出量の算定

(1) CFT 以外の場合

必要吐出量の算定は(1)式による。コンクリート打設の作業効率はコンクリート打設部位と生コン車の配置によって自動的に選択され、吸込み効率（ポンプの容積効率）はコンクリートの品質によって自動的に選択、または算定されるようにした。なお、コンクリートポンプ工法施工指針・同解説（日本建築学会）に示されている余裕率は、作業効率に含めている。

$$Q_d = \frac{Q}{t} \times \frac{1}{\eta_w} \times \frac{1}{\eta_v} \quad (1)$$

Q_d : 必要吐出量 (m³/h)

Q : 一日の総打設数量 (m³)

t : 一日の実作業時間 (時間)

η_w : コンクリート打設の作業効率

η_v : 吸い込み効率

(2) CFT の場合

打設部位が CFT 柱への圧入充填の場合は、圧入充填時のコンクリートの上昇速度を 1m/分以下とする必要がある。そのため、CFT 鋼管柱の形状に応じて、上昇速度が 1m/分となるように打設速度を自動的に算出している。コンクリート上昇速度を 1m/分以上とする場合は、「鋼管形状」で「その他」を選択して、打設速度を入力する。

$$Q_d = Qh \times \frac{1}{\eta_v} \quad (2)$$

Q_d : 必要吐出量 (m³/h)

Qh : 打設速度 (m³/h)

η_v : 吸い込み効率

(3) 吸込み効率の算定

吸込み効率は、表-1 のようにコンクリート種別とスランプ値から自動的に選択する他、試験練が終わっている場合では、スランプ管理のコンクリートとフロー管理のコンクリートに分けて、(3)式、(4)式で算出する。ただし、スランプ 15cm 以下は表-1 の値とする。

表-1 吸い込み効率

骨材の種別	スランプ値	ピストン式	
普通骨材 (普通コンクリート)	8~17	0.8	0.7~0.9
	18~21	0.95	0.85~0.9
	22~	0.8	0.75~0.85
軽量骨材 (軽量コンクリート)	18~20	0.6	0.5~0.75
	21~23	0.8	0.8~0.85

(ア) スランプ管理 (フロー35cm 未満) のコンクリート

$$\eta_v = 0.0105 (W/C) + 0.0009 (C) - 0.0089(SL) + 0.477 (W_0) - 0.916 \quad (3)$$

W/C : 水セメント比(%)

C : 単位セメント量(kg/m³)

SL : スランプ(cm)

W₀ : コンクリートの単位容積質量(t/m³)

(イ) フロー管理 (フロー35cm 以上) のコンクリート

$$\eta_v = -0.01739 (W/C) - 0.00049 (C) + 0.00423 (Lv) + 1.6188 \quad (4)$$

W/C : 水セメント比(%)

C : 単位セメント量(kg/m³)

Lv : Lフロー初速度(cm/sec)

3. 2 管内圧力損失(K 値)の推定

水平管 1mあたりの管内圧力損失 (K 値) はコンクリートに使用されている材料の特性やフレッシュコンクリートの性状によって異なる。また、高強度コンクリートなどでは「コンクリートポンプ工法施工指針・解説 (建築学会)」に示されている K 値の標準値と異なることが指摘されている。本ソフトでは、第二回、第三回、および第 10 回圧送技術研究会において報告された各種の K 値の推定式も採用し、ソフト使用時のコンクリートに関する情報によって図-3 に示す 8 ケースで K 値を推定することとした。

K①は、通常のコンクリートであり、スランプ 15cm 以下では土木学会指針の値を、スランプ 18cm 以上では「コンクリートポンプ工法施工指針・解説 (建築学会)」に示されている K 値の標準値を採用している。K②は、研究会各社の保有するデータを元に、セメント量によって K 値の補正を行なっている。K③④⑤はこれまで圧送技術研究会において報告された各種の K 値の推定式である。以下に K③、K④、K⑤の推定方法を示す。ただし、実験で使用した配管種別は 125A であるため、計画されている配管種別が 100A では 125A で算出した K 値に補正係数を乗じている。

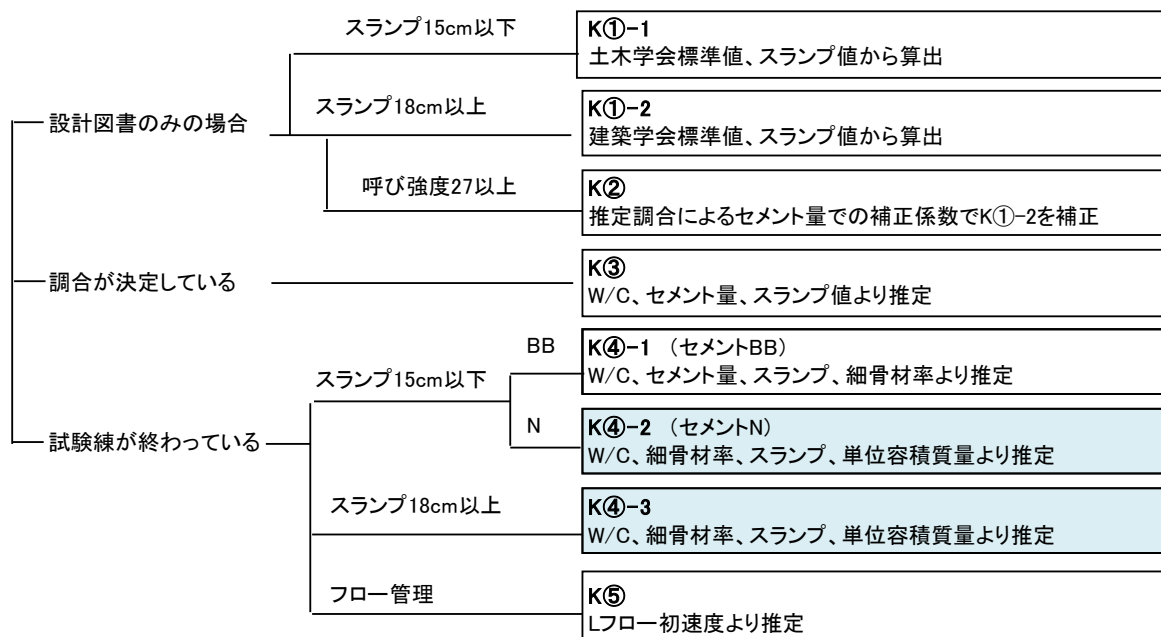


図-3 管内圧力損失の推定方法

(1) K③の推定方法

コンクリートの調合が決定してそのコンクリートがスランプ管理のコンクリートである場合、その水セメント比、単位セメント量、およびF/S（スランプフロー/スランプ）よりK値を求める。なお、F/Sは設計スランプ値よりスランプフロー値を推定して算出する。ソフトでは、初期設定値として表-2に示すスランプとスランプフローの関係を与えている。

$$K③ = (a Qd + b) \times 0.001 \quad (5)$$

K③：水平管1mあたりの管内圧力損失 (N/mm²/m)

Qd：必要吐出量 (m³/h)

a、b：実験定数

$$a = 0.431 + 0.000822(C) - 0.320 (F/S) \quad (5.1)$$

$$b = 1.794 - 0.00076(C) + 0.420 (F/S) \quad (5.2)$$

C：単位セメント量(kg/m³)

F/S：スランプフロー/スランプ

表-2 スランプとスランプフローの関係

スランプ (cm)	スランプフロー 推定値 (cm)	F/S
18	30.0	1.67
21	36.0	1.71
23	42.5	1.85

(2) K④の推定方法

スランプ管理のコンクリートで試験練が完了している場合には、その水セメント比、単位セメント量などの調合とスランプ、単位容積質量試験結果などのフレッシュコンクリートの性状よりK値を求める。

$$K④ = (a Qd + b) \times 0.001 \quad (6)$$

K④：水平管1mあたりの管内圧力損失 (N/mm²/m)

Qd：必要吐出量 (m³/h)

a、b：実験定数

【K④-1：スランプ15cm以下でBBセメントの場合】

$$a = 0.97 - 0.00945 \times (W/C) - 0.0129 \times (SL)$$

$$b = 53.4 - 0.681 \times (W/C) + 0.418 \times (s/a) - 0.0954 \times (C) \quad (6.1)$$

W/C：水セメント比(%)

C：単位セメント量(kg/m³)

SL：スランプ(cm)

s/a：細骨材率(%)

【K④-2：スランプ 15cm 以下で N セメントの場合】

$$\begin{aligned} a &= 2.52 - 0.025 \times (W/C) - 0.002 \times (C) - 0.004 \times (SL) \\ b &= -12.8 - 0.185 \times (W/C) + 0.638 \times (s/a) - 0.315 \times (SL) \end{aligned} \quad (6.2)$$

W/C：水セメント比(%)

C：単位セメント量 (kg)

s/a：細骨材率 (%)

SL：スランプ(cm)

【K④-3：スランプ 18cm 以上の場合】

$$\begin{aligned} a &= 0.524 - 0.0129 \times (W/C) + 0.0263 \times (s/a) + 0.0157 \times (SL) - 0.553 \times (W_0) \\ b &= 48.5 - 0.0591 \times (W/C) - 0.261 \times (s/a) - 0.907 \times (SL) - 5.55 \times (W_0) \end{aligned} \quad (6.3)$$

W/C：水セメント比(%)

SL：スランプ(cm)

s/a：細骨材率 (%)

W₀：コンクリート単位容積質量(t/m³)

(3) K⑤の推定方法

試験練が完了したフロー管理を行う（スランプフロー値 35cm を超える）コンクリートでは L フロー試験の L フロー初速度によって K 値を求める。

$$K⑤ = A \cdot Lv^{-1.2} \quad (7)$$

K⑤：水平管の 1m あたりの管内圧力損失(N/mm²/m)

Lv：L フロー初速度(cm/秒)

A：圧送速度による係数

$$A = 0.0149Qd + 0.0825 \quad (7.1)$$

Qd：必要吐出量 (m³/h)

(4) 100A 配管の K 値の推定

K①においては、125A、100A の配管径ごとに標準値が示されているが、K③、K④、K⑤は 125A 配管を使用した実験から定めた実験定数を用いてそれぞれの圧力損失を推定している。K③、K④、K⑤を使用する場合の 100A 管の K 値は、(8)式によって算出した補正係数 α を 125A 管で算出した K 値に乗じて算出している。但し、スランプ 15cm 以下では α を 1.6 としている。

$$\alpha = 1.798 - 0.03695 \times SL + 0.007635 \times Qd \quad (8)$$

α：普通コンクリートにおける 125A に対する 100A の圧力損失の比率

SL：スランプ(cm) ただし、フロー管理のコンクリートは 25(cm)とする。

Qd：必要吐出量 (m³/h)

3.3 圧送負荷の算定とポンプの選定

(1) CFT 以外の圧送負荷の算定

ポンプに加わる圧送負荷の算定は、コンクリートポンプ工法施工指針・同解説（日本建築学会）に準じて算出している。しかし、ベント管とテーパ管の換算長さは、ベント管は6倍、テーパ管は7倍としている。

$$P=K(L+6B+7T+2F)+0.01W_0H \quad (9)$$

P：コンクリートポンプに加わる圧送負荷（N/mm²）

K：水平管の管内圧力損失（N/mm²/m）

L：直管の長さ（m）

B：ベント管の長さ

T：テーパ管の長さ（m）

F：フレキシブルホースの長さ（m）

W₀：コンクリートの単位容積質量（t/m³）

H：圧送高さ（m）

*ベント管の長さは計画当初では正確な実長がわからないため、曲がり1箇所1mと仮定している。

*テーパ管は径の細い方の管とみなす。

*ポンプに直に配管を接続する場合は、水平換算長さを150A～125Aテーパ管の150A側を計算開始点とする。

(2) CFT の圧送負荷の算定

ポンプに加わる圧送負荷の算定は、「コンクリート充填鋼管（CFT）造技術基準・同解説の運用及び計算例等」（社）新都市ハウジング協会他）に準拠して算出している。

$$P_{CFT}=K(L+6B+7T+2F)+0.01W_0H_p+\beta\times 0.01W_0H_c \quad (10)$$

P_{CFT}：コンクリートポンプに加わる圧送負荷（N/mm²）

K：水平管の管内圧力損失（N/mm²/m）

L：直管の長さ(m)

B：ベント管の長さ(m)

T：テーパ管の長さ(m)

F：フレキシブルホースの長さ(m)

W₀：コンクリートの単位容積質量（t/m³）

H_p：圧送高さ（m）ポンプから柱の圧入口までの高さ

H_c：圧入高さ（m）圧入口から圧入完了時のコンクリートヘッドの高さ
(柱内の充填コンクリート高さ)

β：圧入口での圧入圧力と液体圧との比率を表す係数（β=1.0～1.3）

(3) ポンプの選定

得られた圧送負荷 (P) を 1.25 倍した値と選択したポンプの P-Q 線図を自動的に比較して、選定したポンプでの圧送可否を判定している。表示例を図-4に示す。図中の破線が選定したポンプの標準圧送モードと高圧圧送モードの P-Q 線図、●印は算定した吐出量での必要吐出圧力 (1.25×P) を示す。●印が P-Q 線図で囲まれている圧送可能範囲を超える場合は、「ポンプを選定しなおすか入力値を修正して下さい」というエラーメッセージが表示され、再検討を促す仕組みとした。

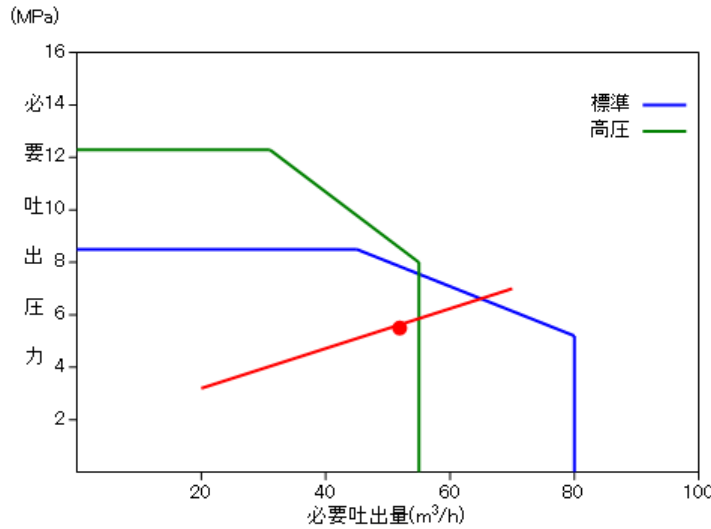


図-4 出力例

3.4 配管の検討

125A の配管を対象に、算定された圧送負荷と配管やジョイントの常用圧力を比較して、ポンプ根元配管に必要な配管とジョイントを自動選定するようにした。また、配管の磨耗程度をチェックする際の参考値として、配管の鋼材種別ごとに(11)式を用いて必要とされる配管の最小肉厚が表示できるようにした。なお、安全率は2とした。表示例を表-3に示す。

$$t = \frac{PD}{2\sigma} \quad (11)$$

t : 必要とされる配管の最小肉厚(mm)

σ : 配管に使用している鋼管の引張り強さ(N/mm²)

D : 配管の内径(mm)

P : 圧送負荷(N/mm²)

表-3 必要とされる配管の最小肉厚出力例

鋼管種別	SGP	STPG370	STPG410	STK400	STK500
100A	1.8	1.4	1.3	1.3	1.1
125A	2.3	1.8	1.6	1.6	1.3

4 測定主油圧からの検討

高強度コンクリートを高所圧送するような場合、**K** 値が正確に推定できない場合が多い。その際、主油圧とピストンのストローク時間を測定することで、そのコンクリートの **K** 値が推定できる。主油圧から **K** 値を推定する(12)式を下に示す。

$$K = \frac{P - (k1 + k2)}{L_0} \quad (12)$$

K : 圧力損失推定値 (N/mm²/m)

P : 計測時吐出圧力 (N/mm²)

P = **Pn**/圧力比

Pn : 主油圧計測値

圧力比 : ポンプ仕様一覧表より

k1 : ポンプ内の圧力損失 (N/mm²)

吐出量とスランプ値から算定

k2 : コンクリート自重によってポンプに加わる圧力 (N/mm²)

k2 = 0.01 **W₀** **H**

W₀ : コンクリートの単位容積質量 (t / m³)

H : 圧送高さ (m)

L₀ : 配管換算長さ (m)

L₀ = **L₁₂₅** + **α** × **L₁₀₀** + ブームの水平換算長さ

L_{*}** = **L** + 6**B** + 7**T** + 2**F**、またはブーム水平換算長 (ポンプ仕様一覧表より)

α = 1.798 - 0.03695 × **SL** + 0.007635 × **Qd** (8)

α : 普通コンクリートにおける 125A に対する 100A の圧力損失の比率

SL : スランプ (cm) ただし、フロー管理のコンクリートは 25 (cm) とする。

Qd : 必要吐出量 (m³/h)

また、得られた **K** 値を元に同一コンクリートを同一ポンプで圧送する場合の圧送限界を(13)式によって自動算出している。

$$H_{\max} = \frac{p_{\max} - KL_h}{K + 0.01W_0} \quad (13)$$

H_{max} : 使用しているポンプで同じコンクリートを同じ吐出量で打設する場合の圧送限界高さ (m)

L_h : 想定される地上階と打設階の配管長さ (m)

p_{max} : 使用ポンプの最大理論吐出圧力に 25% の安全率を考慮した吐出圧力 (N/mm²)

p_{max} = **P_{max}** × 100/125

P_{max} : 使用ポンプの最大理論吐出圧力 (N/mm²)

K : 圧力損失推定値 (N/mm²/m)

W₀ : コンクリートの単位容積質量 (t / m³)

今回、得られた K 値を元に同一コンクリートを同一ポンプで圧送する場合の水平圧送限界距離を(14)式によって自動算出した値を表示するようにした。

【全て 125A 管の場合】

$${}_{125}L_{\max} = P_{\max} \div 1.25K \quad (14 - 1)$$

${}_{125}L_{\max}$: 使用しているポンプ車で同じコンクリートを同じ吐出量で打設する場合の圧送限界距離(m)

但し、輸送管は全て 125A。バント管・フレキシブルホースの使用は無く、高低差もないものとする。

P_{\max} : 使用ポンプの最大理論吐出圧力(N/mm²)

K : 圧力損失推定値 (N/mm²/m)

【全て 100A 管の場合】

$${}_{100}L_{\max} = P_{\max} \div 1.25 \alpha K \quad (14 - 2)$$

${}_{100}L_{\max}$: 使用しているポンプ車で同じコンクリートを同じ吐出量で打設する場合の圧送限界距離(m)

但し、輸送管は全て 100A。バント管・フレキシブルホースの使用は無く、高低差もないものとする。

P_{\max} : 使用ポンプの最大理論吐出圧力(N/mm²)

K : 圧力損失推定値 (N/mm²/m)

α : 125A 管に対する 100A 管の圧力損失比

$$\alpha = 1.798 - 0.03695 \times SL + 0.007635 \times Qd \quad (8)$$

SL : スランプ(cm) ただし、フロー管理のコンクリートは 25(cm)とする。

Qd : 必要吐出量 (m³/h)

5 ポンプ機種一覧

本プログラムでは、162 機種のポンプ仕様データを有している。国内に現存するポンプの中にはかなり古い機種もあるが、データとして保有しているポンプは現行の機種か、過去 15 年以内に製造した機種である。それぞれのポンプ仕様の概要は、ポンプを選択した時に、画面に表示されるようになっている。また、個々のポンプの詳細仕様を確認したい場合には、ポンプ仕様一覧表が用意されている。一覧表の一部を図-5に示す。

任意に選択したポンプ機種のみから選定できるように、評価対象ポンプを絞り込む機能も有している。

型式 (呼称)	ポンプ形式	吸吐弁形式	吐出量 (標準/高圧) (m ³ /h)		吐出圧力 (標準/高圧) (MPa)		コンクリートシリング径 × ストローク (mm)	最大油圧 (MPa)	ホッパー 容量 (m ³)	吐出口径 (mm)	ブーム仕様								寸法			総質量 (t)																																	
			標準	高圧	標準	高圧					標準	高圧	標準	高圧	標準	高圧	標準	高圧	標準	高圧	標準		高圧	標準	高圧																														
																										Q1	Q2	P1	P2	Q1	Q2	P1	P2	Q1	Q2	P1	P2	Q1	Q2	P1	P2														
PY120(A)-36	ヒストン	揺動弁	標準	Q1	55	P1	4.6	225X2100	27.4	0.5	175	4段M形	35.6	125A	61.9	8.2	8.2	24.0	24.0	3.63	2.49	11.9	24.9																																
				Q2	120	P2	2.5																																																
			高圧	Q1	35	P1	6.6																	205X2100	27.4	0.5	175	4段M形	35.6	125A	61.9	8.2	8.2	24.0	24.0	3.63	2.49	11.9	24.9																
				Q2	85	P2	3.5																																																
			標準	Q1	45	P1	5.6																																	205X1150	27.4	0.35	175	3段Z形	18.6	100A	33.0	5.0	1.9	7.0	7.0	2.95	2.17	7.5	7.9
				Q2	100	P2	2.3																																																
高圧	Q1	30	P1	7.9	205X1150	27.4	0.35	175	3段Z形	17.6	100	34.4	4.8	1.7	7.0	7.0	3.0	2.2	7.35	7.98																																			
	Q2	70	P2	4.0																																																			
標準	Q1	38	P1	3.2																	165X1650	28.4	0.5	145	配管車	-	-	-	-	-	-	-	2.82	2.49	8.7	10.83																			
	Q2	78	P2	1.8																																																			
高圧	Q1	28	P1	4.9																																	165X1650	28.4	0.5	145	配管車	-	-	-	-	-	-	-	2.82	2.49	8.7	10.83			
	Q2	55	P2	2.7																																																			
標準	Q1	38	P1	3.2	165X1650	28.4	0.5	145	配管車	-	-	-	-	-	-	-	2.82	2.49	8.7	10.83																																			
	Q2	78	P2	1.8																																																			
高圧	Q1	28	P1	4.9																	165X1650	28.4	0.5	145	配管車	-	-	-	-	-	-	-	2.82	2.49	8.7	10.83																			
	Q2	55	P2	2.7																																																			
PH55-18	スライズ	真空復元式	高速度	Q1																																	40	P1	1.8	ボンピングチューブ径 115 (115)	25.5	1.28	111	4段M形	18.0	100A	52.3	3.6	2.7	6.0	5.0	2.8	2.06	6.7	7.6
				Q2																																	55	P2	1.4																
			低速	Q1	28	P1	2.5	ボンピングチューブ径 100	電動	-	100	定置式	-	-	-	-	-	-	-	1.46																	1.06	2.45	1.30																
				Q2	40	P2	1.9																																																
標準	Q1	20	P1	1.5	ボンピングチューブ径 100	電動	-														100	定置式	-	-	-	-	-	-	-	1.46	1.06	2.45	1.30																						
	Q2	160	P2	3.0																																																			
標準	Q1	55	P1	8.5				230X2100	36.0	0.5	180	4段M形	35.6	125A	61.0	6.3	6.3	18.0	18.5	3.75														2.49	11.94	24.8																			
	Q2	160	P2	3.0																																																			
高圧	Q1	35	P1	13.0	230X2100	36.0	0.5														180	4段M形	27.6	125A	52.0	6.2	2.5	15.2	10.3	3.8	2.49	9.95	19.8																						
	Q2	108	P2	4.0																																																			
標準	Q1	40	P1	15.0																																	200X2100	36.0	0.5	150	定置式	-	-	-	-	-	-	-	2.50	1.98	6.81	7.9			
	Q2	110	P2	5.5																																																			
高圧	Q1	27	P1	22.0				200X2100	36.0	0.5	150	定置式	-	-	-	-	-	-	-	2.50														1.98	6.81	7.9																			
	Q2	76	P2	8.0																																																			
標準	Q1	35	P1	1.6	ボンピングチューブ径 102	21.0	0.2														102	3段Z形(伸)	14.0	100A	35.5	3.9	-	5.5	4.0	2.71	1.89	5.60	6.8																						
	Q2	60	P2	1.3																																																			
標準	Q1	50	P1	1.7	ボンピングチューブ径 102	20.0	0.2														102	3段Z形(伸)	17.0	100A	39.9	4.5	-	5.5	4.0	3.01	2.01	6.60	7.6																						
	Q2	60	P2	1.3																																																			
標準	Q1	38	P1	4.3	180x900	24.5	0.2	175	配管車	-	-	-	-	-	-	-	2.34	2.22	6.64	6.5																																			
	Q2	56	P2	2.5																																																			
標準	Q1	14	P1	4.3	180x900	4.3	0.2	150	定置式	-	-	-	-	-	-	-	1.33	1.50	3.44	2.6																																			
	Q2	60	P2	1.3																																																			

図-5 ポンプ一覧