

第5章 表面ひび割れ幅法

5-1 解析対象（表面ひび割れ幅法）

表面ひび割れ幅法は、図 5-1 に示すように、コンクリート表面より生じるひび割れを対象とした解析方法である。すなわち、コンクリートの弾性係数が断面で一様に変化し、特に方向性を持たない表面にひび割れを解析の対象とする。スラブ状構造物の場合には地盤を拘束体とみなし、また壁状構造物の場合にはフーチングを拘束体として、それぞれ外部拘束係数を定める。

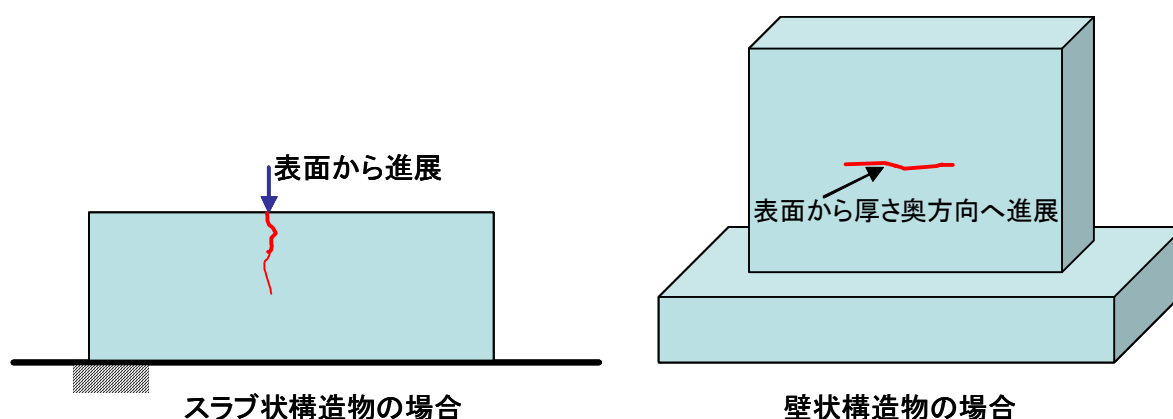


図 5-1 表面ひび割れ幅法が解析の対象とするひび割れ

ここでは、以下の例題を基に表面ひび割れ幅の計算方法について説明する。なお、表面にひび割れの理論的な説明は「コンクリートの初期ひび割れおよびひび割れ幅進展の解析方法、マスコンクリートソフト作成委員会報告書（日本コンクリート工学協会 2003 年 11 月）」を参照されたい。

解析例は、図 5-2 (a) に示すように橋脚の壁の部分の水平に生じるひび割れを対象とする。すなわち、橋脚表面部の上下方向に生じる応力を算出し、この応力によって生じるひび割れの幅とその進展深さを求める。図 5-1(b)は、表面ひび割れ幅法のメッシュ図である。これは、図 5-1(a)に示した橋脚の一部を切り出したもので、厚さ 6 m の半分的一方（前面側）を解析の対象としている。メッシュ図の紙面直角方向が構造物の上下方向である。また、メッシュの上端が表面側であり、下方向がコンクリート内部に向かう方向で、下端は橋脚の壁厚の中心位置である。この場合、背面側の半分が前面側を拘束体となっており、図 5-3 のような前変形が生じないことから、 $R_M=1.0$ となる。また、上下方向の変形は拘束されないため、 $R_N=0.0$ を用いる。

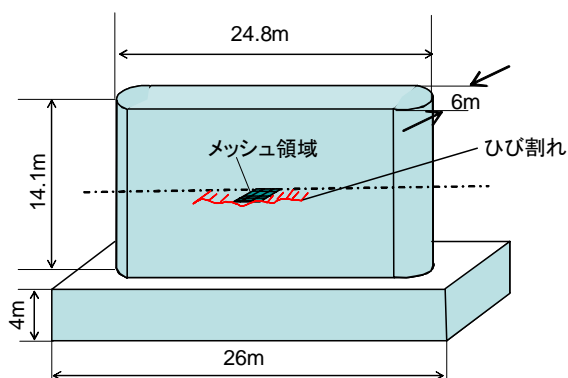


図 5-2(a) 構造物概要

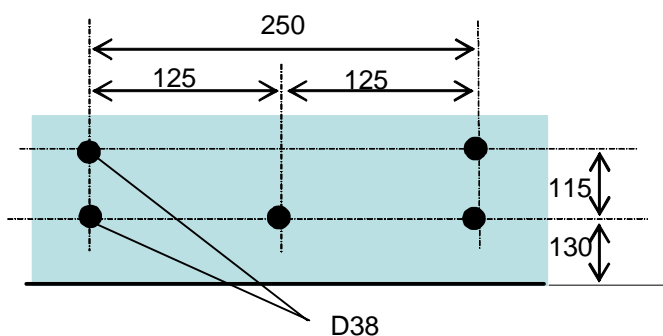


図 5-2(c) 鉄筋位置詳細

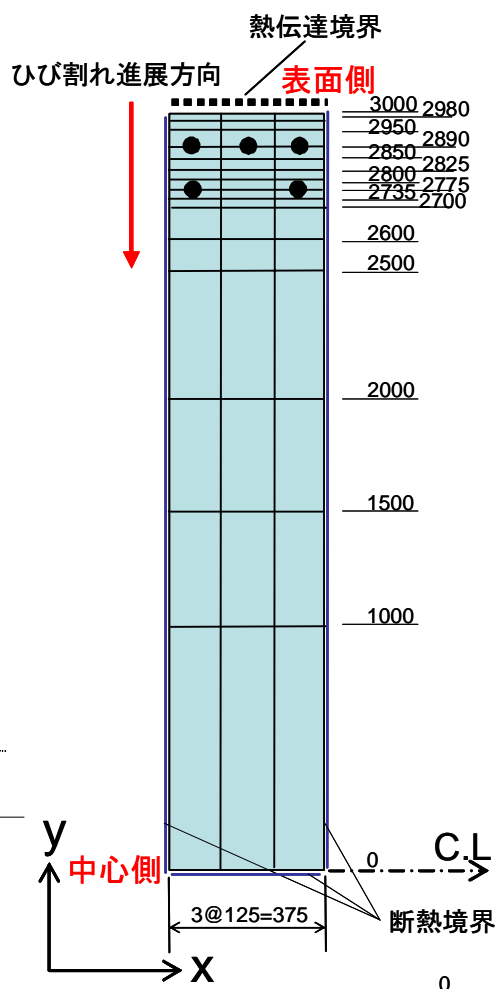


図 5-2(b) 表面ひび割れ幅法メッシュ図

以下は、表件ひび割れ幅法におけるメッシュ作成時の注意事項である。

- 1) 表面ひび割れ幅法では、表面から進展するひび割れを対象としているので、ひび割れが内部から発生する場合には、従来の CP ひび割れ幅法あるいは FEM ひび割れ幅法などの計算方法によって再度計算を行う。
- 2) 現バージョンでは、コンクリートの解析リフトを 1 リフトに限定しているため、対象リフト以外が拘束体となるように外部拘束係数を定める。
- 3) ひび割れの進展はメッシュの y 方向に限定されており、また、ひび割れは y 座標の大きい方から進展すると仮定しているため、y 座標の大きい方が表面側となるようにメッシュを作成する。x 方向の表面から進展するひび割れの進展は考慮されない。
- 4) ひび割れは要素単位で表現されるため、ひび割れの進展も要素単位となる。したがって進展の履歴を詳細に解析したい場合には、ひび割れ進展 (y 方向) の要素の分割をなるべく多くすることが望ましい。
- 5) 鉄筋の座標は要素の境界 (要素の边上) に一致させない。

5-2 解析条件と物性値

解析対象の構造物は、東京都において平成 15 年 6 月 1 日に打設されるものとする。解析は、8 月 31 日まで行う。使用されたコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いた普通コンクリートで、単位セメント量は、 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 、打設時の練り上がり温度は、 20°C である。温度解析に用いた熱特性値を表-5.1 に示す。熱伝達境界は解析期間を通してコンクリート露出面とした。

表-5.1 温度解析の熱特性値

物性値	コンクリート
初期温度	20°C
比熱	$1.1\text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$
密度	$2300\text{ kg}/\text{m}^3$
熱伝導率	$2.8\text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$

5-3 温度解析

表面ひび割れ幅法では、温度解析および応力解析ともに同じメッシュを使用する。温度解析の流れは 2-3 と同様である。ここでは概略のみを示す。

この問題では、打設リフト数は 1、発熱体となる。したがって、メッシュのすべての節点は図-5.2 に示すように初期温度設定画面で、固定温度境界:No と指定する。また、解析ステップでは、荷重増分を小さくしてひび割れの進展が徐々に進むように、**超詳細**を選択することが望ましい。

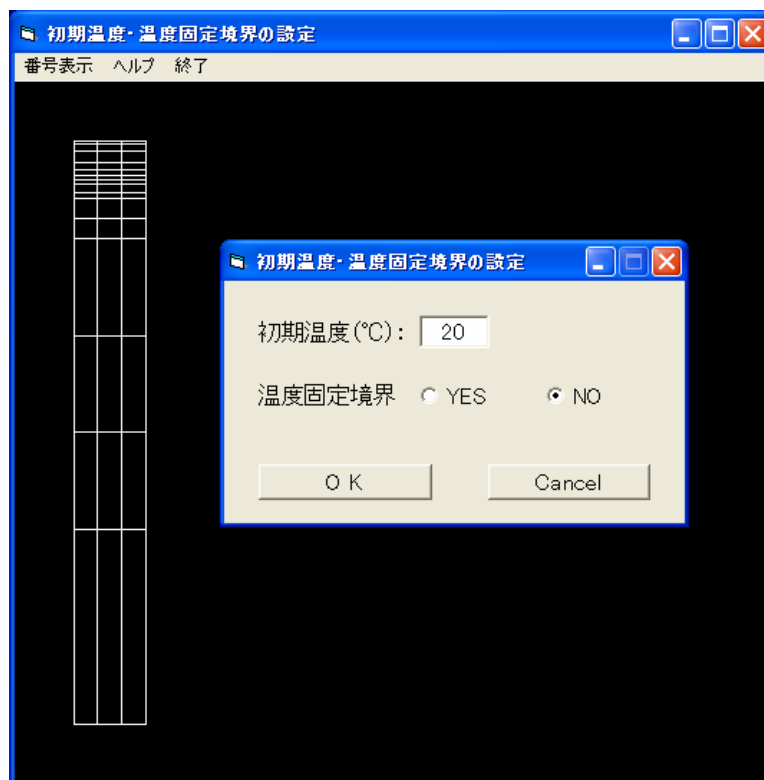


図 5-2 初期温度設定画面

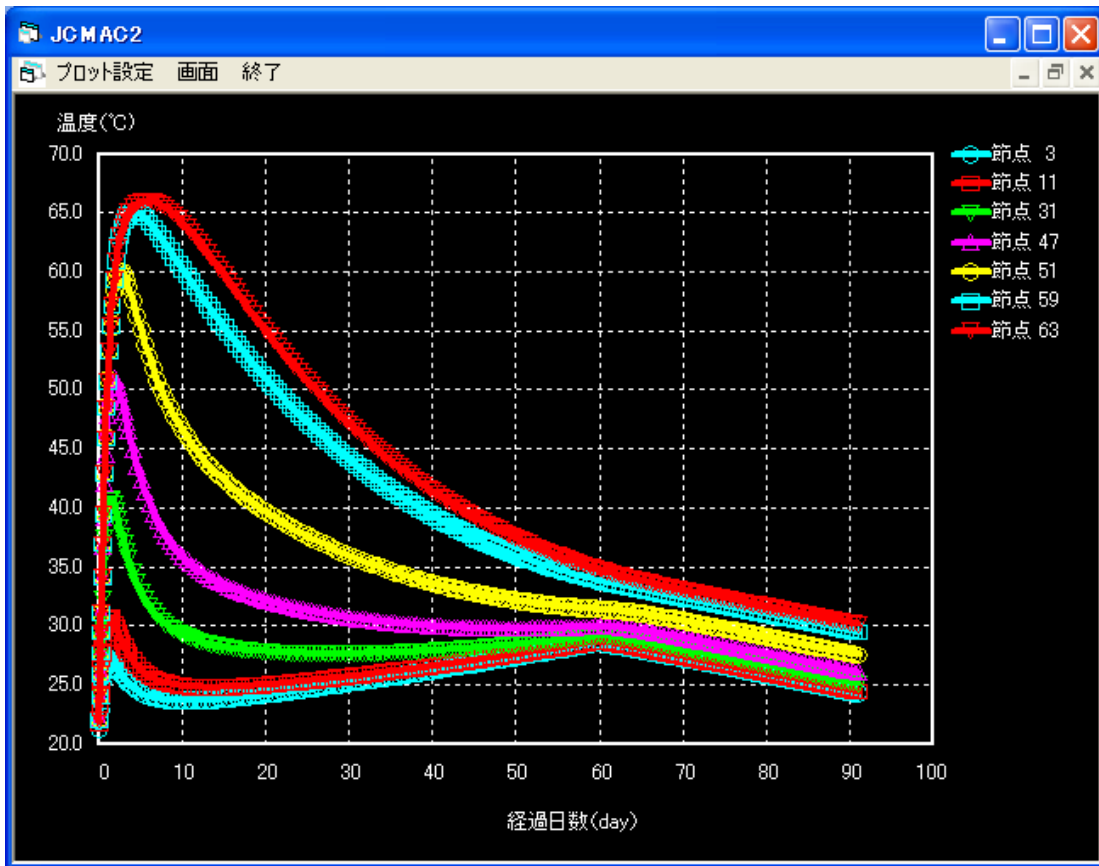


図 5-3 温度解析結果

5-4 表面ひび割れ幅法の解析手順

図 5-2 に示したメッシュの FEM 温度解析結果 (図 5-3) は自動的に、表面ひび割れ幅法の解析に受け渡されるので、タイトルメニューから「表面ひび割れ幅法」の「基本条件の設定」を選択する (図 5-4)。なお、表面ひび割れ幅法の解析条件は表 5.2 の通りである。

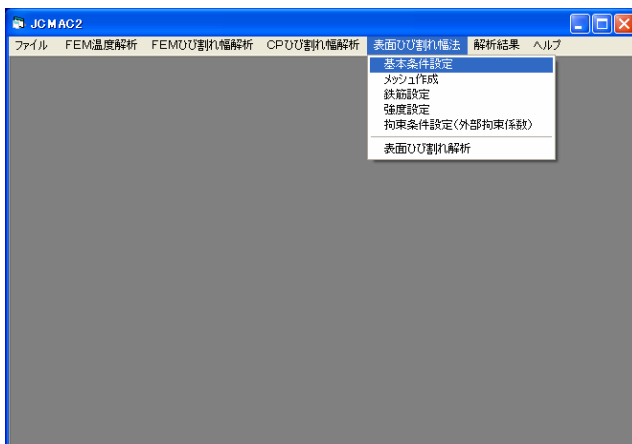


図-5.4 表面ひび割れ幅法の基本条件設定を選択

表 5.2 表面ひび割れ幅法の解析条件

項目	橋脚		
	第1リフト	第2リフト	第3リフト
圧縮強度発現式 (N/mm ²)	$f_c'(t) = \frac{1.1t}{4.5 + 0.95t} f_c'(28)$		
圧縮強度(材齢28日, N/mm ²)	30		
引張強度(N/mm ²)	$f_t(t) = 0.44\sqrt{f_c'(t)}$		
弾性係数(N/mm ²)	$E_c(t) = \phi(t) \cdot 4700\sqrt{f_c'(t)}$		
クリープによる低減係数	材齢3日まで: $\phi(t)=0.73$ 材齢5日以降: $\phi(t)=1.00$		
拘束係数	R _N	0.0	
	R _{M1}	1.0	
	R _{M2}	1.0	
l_{su}, l_{sb}	$l_{su}=100\text{mm}, l_{sb}=5\text{mm}$		
l_{cu}, l_{cb}	$l_{cu}=1000\text{mm}, l_{cb}=50\text{mm}$		
鉄筋のヤング率(N/mm ²)	200000		

「基本条件の設定」を選択すると図-5.5 に示す画面が表示される。ここで、コンクリートの線膨張係数、表面部での応力開放領域 L_{cu} とひび割れ先端での応力開放領域 L_{cb} 、同じく表面部の鉄筋の付着喪失領域 L_{su} とひび割れ先端での L_{sb} を入力する。また、鉄筋のヤング率、ひび割れの発生されるときひび割れ指数の値を入力する。

項目	値	単位
コンクリートの線膨張係数	0.00001	(1/°C)
応力解放領域(ひび割れ先端) L_{cb}	50	(mm)
応力解放領域(表面) L_{cu}	1000	(mm)
付着喪失等価領域(ひび割れ先端) L_{sb}	5	(mm)
付着喪失等価領域(表面) L_{su}	100	(mm)
鉄筋ヤング係数	200000	(N/mm ²)

ひび割れの発生条件
ひび割れ指数が、 以下になるとひび割れが発生

図 5-5 基本条件の設定画面

次に「表面ひび割れ幅法」の「メッシュ作成」を選択すると以下のメッセージが示されるので、OK をクリックする。現在のバージョンでは、温度解析全体をひび割れ解析を行う領域とする。

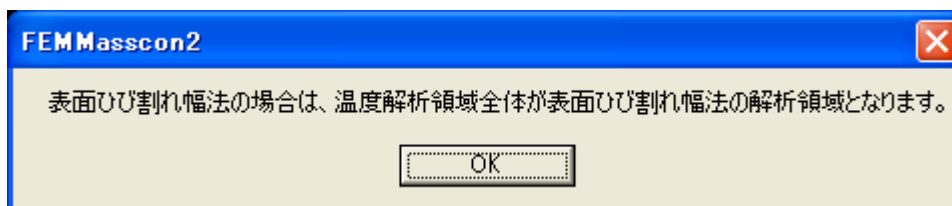


図-5.6 メッシュ作成画面に表示されるメッセージ (OK をクリックする)

次に「鉄筋の設定」を選択すると図-5.7 に示す画面が表示されるので、画面内にマウスを持っていき、右ボタンをクリックし「鉄筋の設定」→「画面上で設定」を選択する。

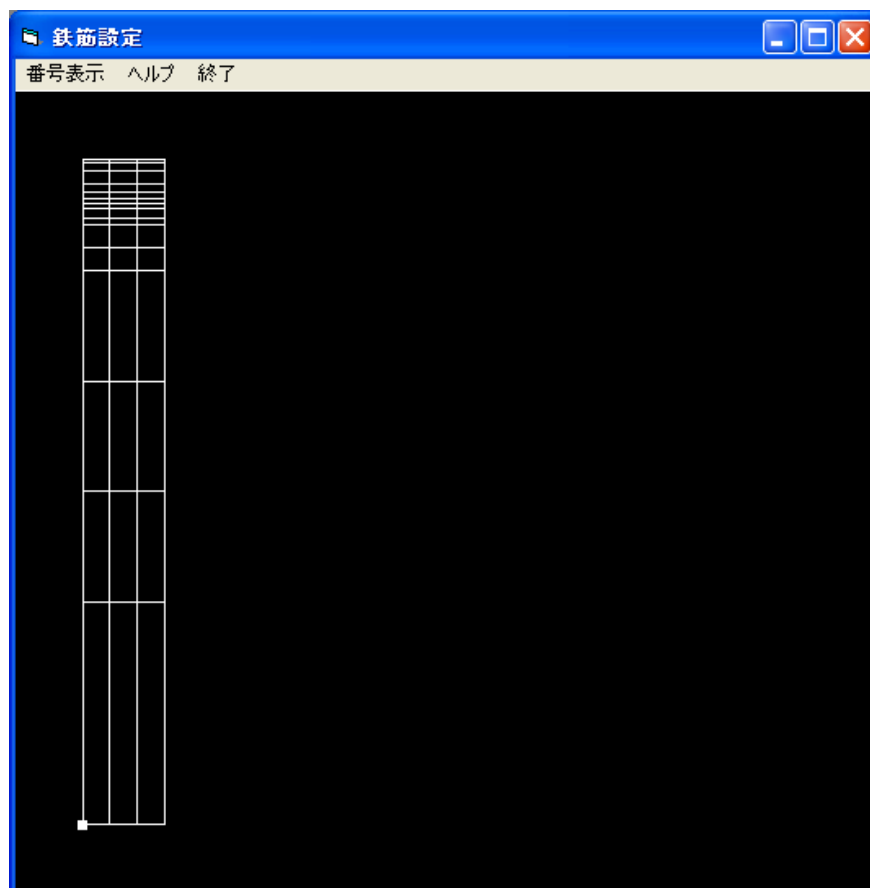


図-5.7 「鉄筋の設定」画面

図-5.8 の画面が現れるので、図 5-1(c)で示した鉄筋位置のように、まず1段目（表面側）の鉄筋を入力する。

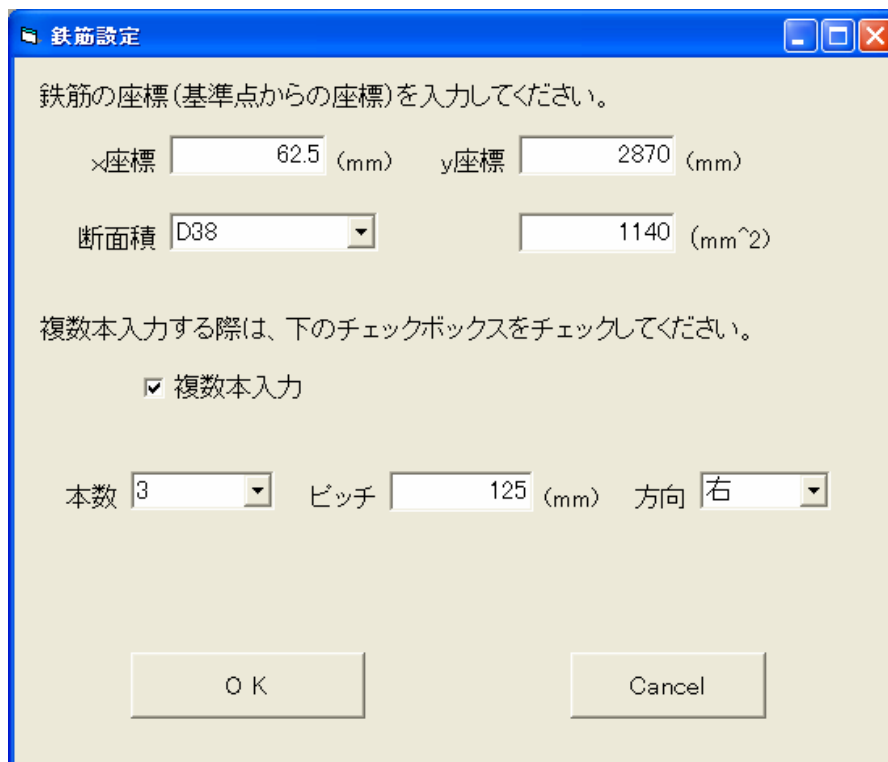


図-5.8 鉄筋座標の入力

OK ボタンを押すと鉄筋の位置確認のダイアログが現れるので、よければOK を押す。
続けて、図-5.7 の「鉄筋設定」の画面内にて、右ボタンをクリックし「鉄筋の設定」→「画面上で設定」を選択して、2 段目の鉄筋（内側の鉄筋）を入力する（図-5.9）

鉄筋設定

鉄筋の座標(基準点からの座標)を入力してください。

x座標 62.5 (mm) y座標 2755 (mm)

断面積 D38 1140 (mm²)

複数本入力する際は、下のチェックボックスをチェックしてください。

複数本入力

本数 2 ピッチ 250 (mm) 方向 右

OK Cancel

図-5.9 2 断面（内側）の鉄筋の設定画面

OK を押すと画面上に鉄筋の位置が赤い丸で示されるのでの確認する。

「表面ひび割れ幅法」の「強度設定」からを選択すると図-5.10 に示す画面が現れるので、セメントの種類と圧縮強度を入力する。ここでは、使用セメントとして、普通ポルトランドセメント、圧縮強度は材齢 28 日で 30N/mm²とした。この画面を選択すると図-3.9 と同じコンクリートの強度発現式とクリープを入力する画面が表示される。

表面ひび割れ幅法の入力画面の最後として、「拘束条件設定（外部拘束係数）」を選択する。図-5.11 に示す画面にて、 R_N 、 R_{M1} 、 R_{M2} を入力する。ここでは、水平方向に生じるひび割れを対象としているので、橋脚の上下方向の拘束がないことから、 $R_N=0$ 、また、橋脚の厚さ方向に対する対象性を仮定していることから（図-5.1(a)で橋脚は紙面手前側にも向こう側にも倒れるような変形をしない） $R_{M1}=R_{M2}=1.0$ を仮定している。

最後に「表面ひび割れ幅法」の「表面ひび割れ解析」を選択して解析を実行する。

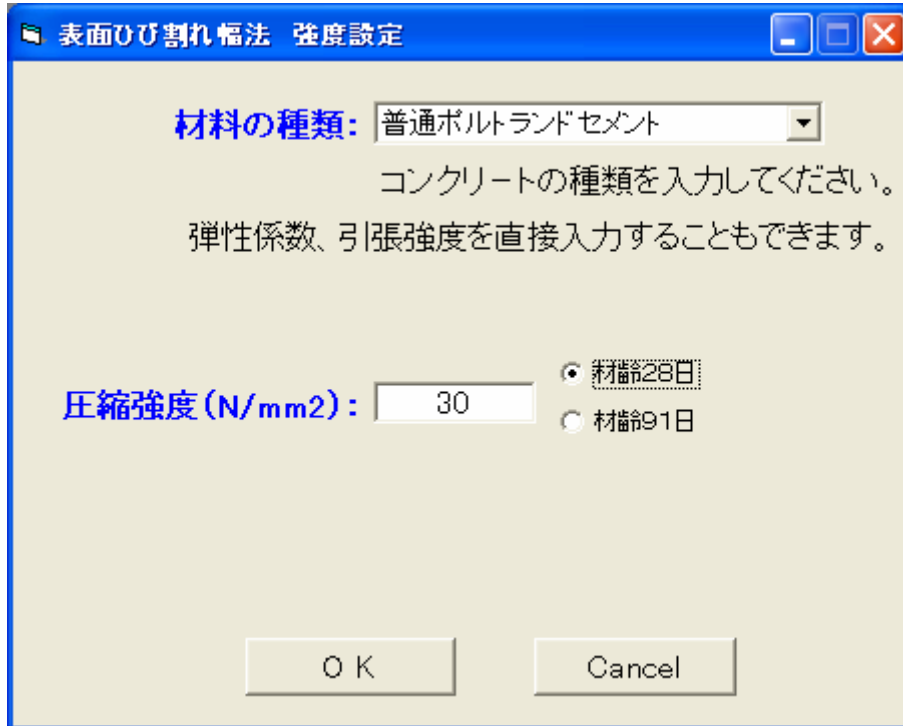


図-5.10 コンクリート強度に関する入力画面

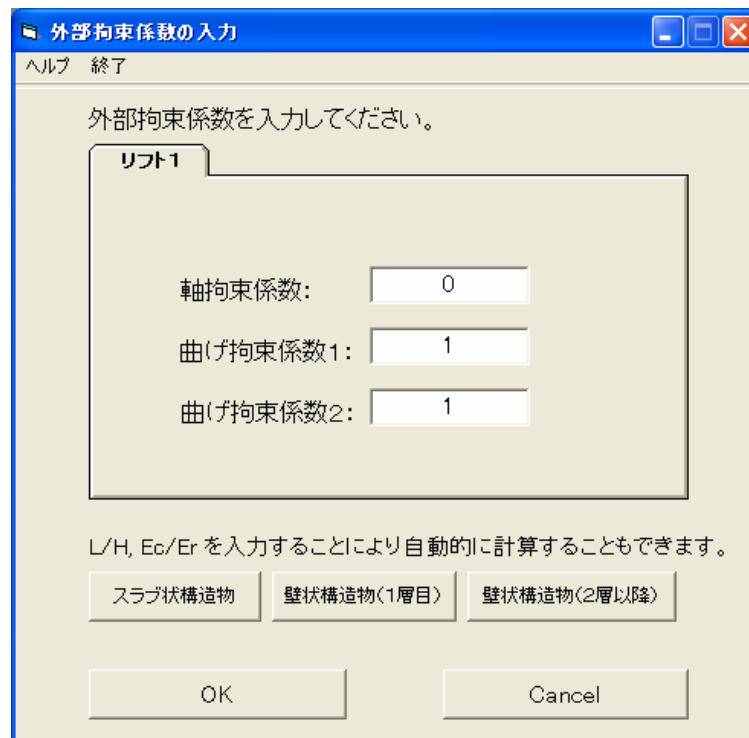


図-5.11 拘束条件の設定