

# 報告 切削即時充填式プレライニング工法用コンクリートの配合選定

谷口裕史\*1・荒木田憲\*2・長沢教夫\*3・青山昌二\*4

**要旨:** 切削即時充填式プレライニング工法は、山岳トンネル施工法の1つであり、切羽前方に先受けおよび支保としての機能を有したコンクリートシェル(プレライニング)を構築した後、その内部を掘削する工法である。本工法に用いるスリットコンクリートは、切削スリット内に隙間なく充填させる充填性、妻型枠から解放された時点での自立性および掘削時における支保工としての初期強度が要求される。本工法を実施に適用するにあたり、3種類の特種混和材を使用したスリットコンクリートの配合を試験練りにより選定した。

**キーワード:** 都市トンネル, プレライニング工法, 急硬性コンクリート, 特殊混和材

## 1. はじめに

切削即時充填式プレライニング工法(以下、New PLS 工法と称す)は、**図-1**に示すように掘削に先立ち切羽前方に連続したコンクリートシェル(プレライニング)を構築し、その後内部を掘削するため、地表面沈下を抑制できるなどの特徴がある。本工法に適用するコンクリート(以下、スリットコンクリートと称す)は、以下の性能を有する必要がある。

(1)チェーンカッターにより切削された地山スリット(例えば、幅40cm、奥行き3m)内に分離することなく均一に充填できること。

(2)スリットコンクリートの端面が、切削に伴い移動する妻型枠から解放された時点(例えば、スリット内に打込み後12分)で自立すること。

(3)トンネル掘削時の作用土圧に耐えることができる初期強度を有していること。

これらの性能を満足させるために、急硬材、急結剤および凝結調整剤の特種混和材を使用した急硬性コンクリートを開発し<sup>1)</sup>、保土ヶ谷トンネルに適用した<sup>2) 3)</sup>。今回、吉井トンネルにNew PLS 工法を適用するにあたり、先受け長を2mから3mに延長した。また、初めて冬期施工を実施するため、低温時のスリットコンクリート配合を選定する必要が生じた。

以上のような背景から、本報告では、吉井トンネル向けに実施したスリットコンクリートの配合選定試験結果について報告する。

## 2. スリットコンクリートの概要

スリットコンクリート製造システムを**図-2**に示す。スリットコンクリートは現場に設置したバッチャープラントでベースコンクリート(急結剤混入前のコンクリート)を製造し、アジテータトラック車で切羽まで運搬した後、コン

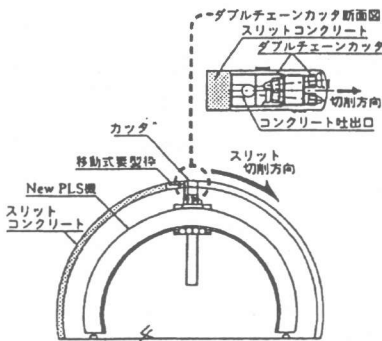


図-1 New PLS 工法概要図

\*1 ハザマ技術研究所 技術研究部 土木研究室 主任研究員 博士(工学) (正会員)  
 \*2 ハザマ土木事業総本部 トンネル統括部 係長  
 \*3 ハザマ横浜支店 吉井作業所 副所長  
 \*4 日本道路公団 東京建設局 横浜工事事務所

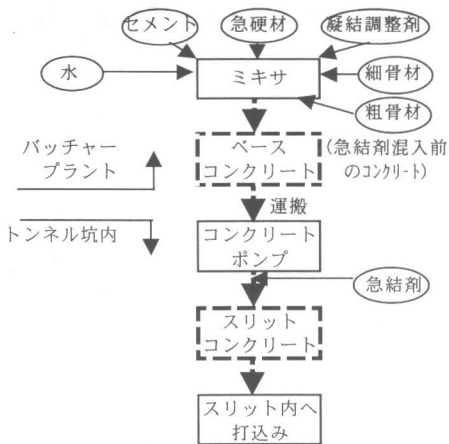


図-2 スリットコンクリートの製造システム

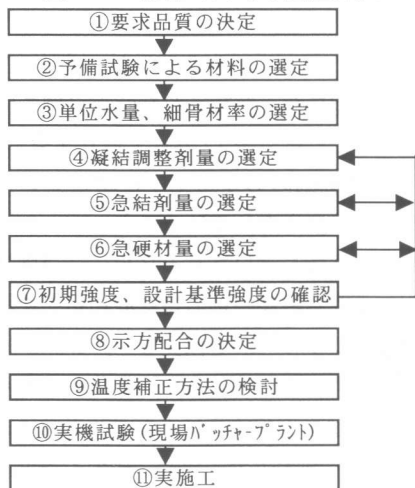


図-3 試験フロー

クリートポンプを用いて圧送する。ベースコンクリートには、初期強度を確保するための急硬材および製造からスリット内への打込みまでの間、急硬材を用いたコンクリートの流動性および充填性を確保するための凝結調整剤を混入している。一方、妻型枠から解放された時点での自立性を確保するための液体急結剤（以下、急結剤と称す）は、圧送途中でNew PLS機に設置した急結剤混入・混合装置部分でベースコンクリートに混入する。

### 3. 試験概要

#### 3.1 試験フロー

スリットコンクリートに使用した特殊混和材

表-1 スリットコンクリートの要求品質

項目	目標品質	特殊混和材の効果
スランプ (保持時間)	20±2.5cm 90分保持	凝結調整剤により保持
自立時間	12分(妻型枠1.2m、 横行速度100mm/min)	急結剤により自立時間を確保
圧縮強度	材齢6時間：3N/mm <sup>2</sup> 材齢28日：18N/mm <sup>2</sup>	急硬材により初期強度を確保

表-2 使用材料

材料の種類	種類	基本特性
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.15g/cm <sup>3</sup> 、 比表面積：3360cm <sup>2</sup> /g
急硬材	PLS-P	密度：2.92g/cm <sup>3</sup> 、 カルシウムアルミノシリケート系化合物
凝結調整剤	D-300	密度：2.19g/cm <sup>3</sup> 、 有機酸とアルカリ炭酸塩の複合体
急結剤	PLS-L	密度：1.50g/cm <sup>3</sup> (固形分50% 水溶液)、特殊無機リン酸化合物
細骨材	田川産	密度：2.56g/cm <sup>3</sup> 、吸水率： 1.97%、F.M.：2.34
粗骨材	足柄産	密度：2.59g/cm <sup>3</sup> 、吸水率： 2.95%、F.M.：6.45
水	水道水	東京都町田市

表-3 試験要因

試験要因		水準
単位結合材量	C+P	400kg/m <sup>3</sup>
急硬材量	P/(C+P)	14~18%
凝結調整剤量	(C+P)×%	0.5~1.7%
急結剤量	(C+P)×%	3~9%
細骨材率	s/a	41~47%
水結合材比	W/(C+P)	47~53%

は、それぞれが互いに影響するために、使用量を順次決定していくことが困難である。このため、図-3に示す試験フローに従い、試験練りを実施した。

#### 3.2 要求品質

吉井トンネルにおけるスリットコンクリートの要求品質を表-1に示す。スランプは充填性を考慮して、自立時間は切削（横行）速度100mm/min、型枠1.2mからコンクリート打込み後12分でコンクリート面が開放されることから、初期強度は施工サイクルを考慮して掘削開始時の材齢6時間強度から定められる。

#### 3.3 使用材料および試験要因

使用材料を表-2に、試験要因を表-3に示す。温度条件は30℃、25℃、20℃、10℃および5℃とした。また、室内試験における材齢6時間強度の目標値は、目標品質の2倍の6N/mm<sup>2</sup>とした。これは、実施工で用いられる急結剤混合

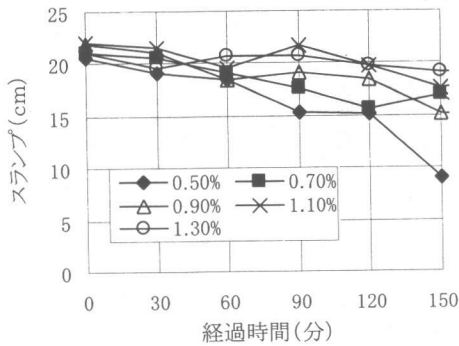


図-4 凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係 (20°C, P/(C+P)=14%)

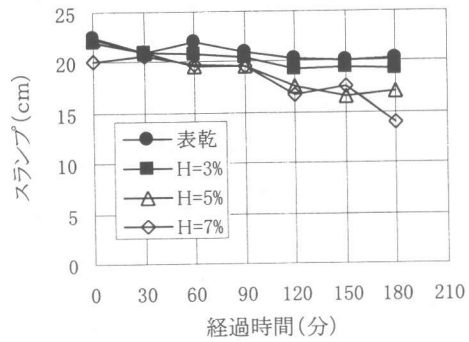


図-5 スランプ保持時間に及ぼす細骨材の表面水率の影響 (凝結調整剤量: (C+P)×1.2%)

装置による混合性能は、ミキサと比較して劣るために強度の変動が大きくなること。さらには、保土ヶ谷トンネルでの施工管理試験結果<sup>2)</sup>も参考にして定めた。

### 3.4 試験方法

ベースコンクリートは、セメント、急硬材、細、粗骨材を空練りした後、凝結調整剤と水を添加して練り混ぜた。凝結調整剤量選定試験ではベースコンクリートのスランプ経時変化を測定した。急結剤量および急硬材量選定試験は、ベースコンクリート製造後 10 分で急結剤を混入し、スランプ試験 (自立試験) および、所定の時間 (材齢) で圧縮強度試験を実施した。

## 4. 実験結果

### 4.1 凝結調整剤量の選定

水結合材比および細骨材率は、ベースコンクリートにおける試験練りによりそれぞれ  $W/(C+P)=50\%$ ,  $s/a=45\%$  とした。

20°C 条件の試験結果を図-4 および 5 に示す。凝結調整剤量増大にともない、スランプ保持時間が長くなり、凝結調整剤量が  $(C+P) \times 0.9\%$  以上でスランプ保持時間 90 分を満足した。

一方、図-5 のように細骨材の表面水率が高い場合 (5% 以上) には、スランプ低下が早まり、 $(C+P) \times 1.2\%$  の場合でも 90 分以降にスランプ低下を示した。これは、空練りした際に、急硬材

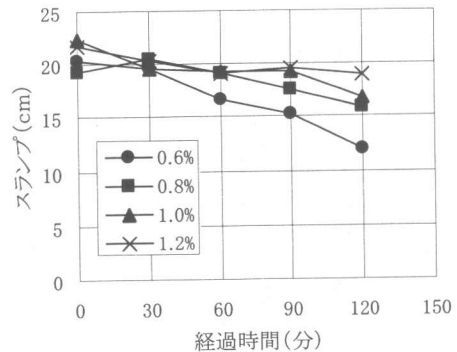


図-6 凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係 (10°C, P/(C+P)=15%)

の一部が凝結調整剤と反応する前に細骨材の表面水と反応した影響と考えられる。

以上から、20°C 条件では、現場で使用する細、粗骨材の表面水率の変動も考慮して、凝結調整剤量  $(C+P) \times 1.2\%$  を選定した。

10°C 条件の試験結果を図-6 に示す。凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係は、20°C 条件と同様の傾向を示す。すなわち、凝結調整剤量の増大にともないスランプ保持時間が長くなる。また、低温時の初期強度低下を考慮して、同一凝結調整剤量に対し、急硬材量を 18% まで増大させた場合でも、目標とする 90~120 分程度の保持時間には、急硬材量の影響は認められない。一方、2 時間以降のスランプ低下は急硬材量が多いものほど大きくなった。

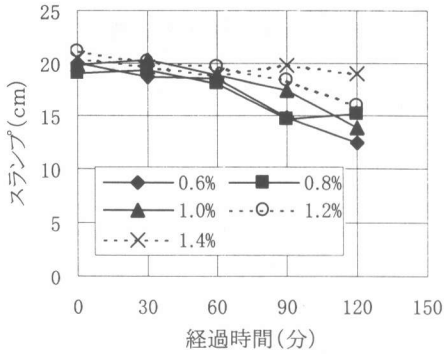


図-7 凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係 (5°C,  $P/(C+P)=15\%$ )

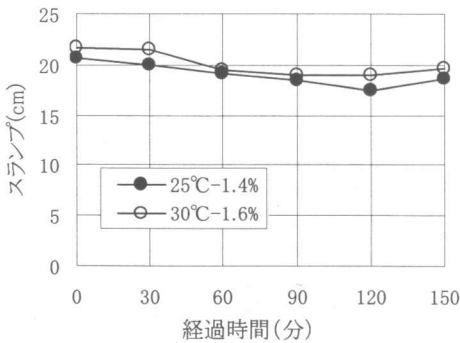


図-8 高温下での凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係 ( $P/(C+P)=14\%$ )

5°C条件の試験結果を図-7に示す。5°C条件では、10°Cおよび20°Cと比較して、スランプ保持時間が短くなり、凝結調整剤量を(C+P)×1.4%程度まで増大させる必要がある。これは、5°C条件では凝結調整剤の活性が低下するために、使用量が増大したと考えられる。

25°Cおよび30°C条件の試験結果を図-8に示す。いずれの場合にも、凝結調整剤量の増大により、スランプ保持が可能であり、その量は20°Cと比較して、25°Cで+0.2%、30°Cで+0.4%であった。この補正量は、保土ヶ谷トンネルの場合と同様であった。

#### 4.2 急結剤量の選定

20°C条件の試験結果を図-9に示す。自立時間(スランプ 0cm)は、凝結調整剤量一定の場合には

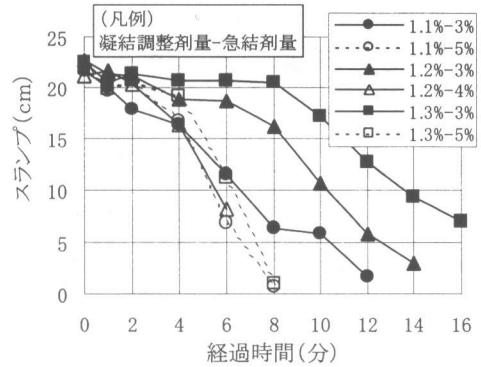


図-9 急結剤混合後のスランプ経時変化 (20°C)

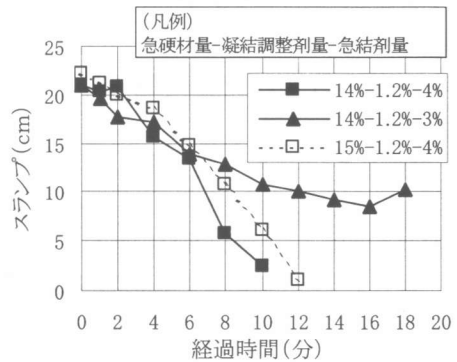


図-10 急結剤混合後のスランプ経時変化(10°C)

急結剤量の増大にともない、急結剤量一定の場合には、凝結調整剤量の減少にともない短くなる。また、凝結調整剤量が(C+P)×1.1~1.3%の範囲では、急結剤量が(C+P)×3%では目標時間内に自立せず、4~5%程度使用した場合には目標とする自立性能を満足した。

低温時における試験結果を図-10および11に示す。10°C条件では、急硬材量  $P/(C+P)=14\%$  および 15%いずれの場合にも、凝結調整剤量(C+P)×1.2%、急結剤量(C+P)×4%で自立条件を満足する。一方、5°C条件では、自立性状を満足させるためには、急結剤量が(C+P)×7%程度以上必要となった。これは、スランプ保持に必要な凝結調整剤量が増大しているために急結剤使用量を増大させる必要が生じたと考えられる。

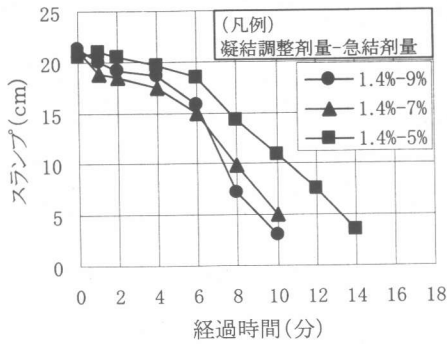


図-11 急結剤混合後のスランプ経時変化(5°C)

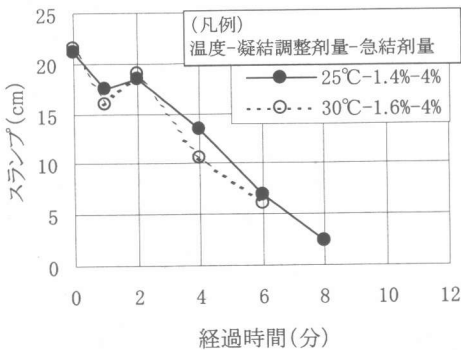


図-12 急結剤混合後のスランプ経時変化(高温時)

高温時の試験結果を図-12に示す。いずれの場合にも先に選定した凝結調整剤量に対し、急結剤量を20°C条件と同様に(C+P)×4%とすることにより目標とする自立時間を満足した。この補正量も保土ヶ谷トンネルと同様であった。

#### 4.3 急硬材量の選定

20°C条件の強度試験結果を表-4に示す。いずれの急硬材量および凝結調整剤量の組み合わせでも、急結剤を混入しない場合には、材齢6時間では硬化しない。急結剤を混入した場合には、凝結調整剤量または急結剤量が同量であれば、材齢6時間強度は急硬材量の増大により向上し、急硬材量または急結剤量が同量であれば凝結調整剤量が少ない配合ほど材齢6時間強度が増大する。これらの試験から、各材料使用量の組み合わせにおいて、各々材齢6時間強度を

表-4 圧縮強度試験結果(20°C)

急硬材	凝結調整剤	急結剤	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )				σ 6h 判定
			6時間	1日	7日	28日	
12%		0%	—	4.25	31.5	39.3	×
		3%	4.96	11.0	33.5	37.6	×
		5%	5.26	8.38	31.4	37.3	×
14%		0%	—	5.52	35.4	41.0	×
		3%	5.67	11.8	30.5	37.8	×
		5%	6.55	8.99	29.4	36.7	○
16%	1.1%	0%	—	5.41	35.2	41.5	×
		3%	6.80	13.8	35.0	40.5	○
		5%	7.66	12.4	34.2	40.4	○
18%		0%	—	6.63	35.5	39.5	×
		3%	7.72	14.6	34.5	42.0	○
		5%	8.74	15.1	33.4	39.6	○
14%	1.2%	3%	5.07	13.7	31.2	39.0	×
		<b>4%</b>	<b>6.59</b>	<b>12.9</b>	<b>31.7</b>	<b>40.6</b>	◎
		5%	6.34	10.5	31.6	39.3	○
	1.3%	0%	—	4.46	28.1	37.6	×
		4%	5.79	12.0	31.3	40.0	×
		5%	6.13	10.3	30.1	39.6	○
		6%	6.20	7.61	28.7	38.8	○
7%	5.82	6.93	28.4	36.2	×		

注) ◎ : 選定配合

最大にする急結剤量が存在し、その量は(C+P)×4~6%であった。これは、急結剤量が少ない場合には、凝結調整剤の遅延効果が卓越し、急結剤使用量が多くなる場合は、急結剤中の水分が増加するために材齢6時間強度が低減するものと考えられる。なお、先に選定した凝結調整剤量(C+P)×1.2%、急結剤量(C+P)×4%の場合には急硬材量 P/(C+P)=14%で目標とする材齢6時間強度を満足した。

10°Cおよび5°C条件の試験結果を表-5および6に示す。10°Cの場合には、先に選定した凝結調整剤量(C+P)×1.2%、急結剤量(C+P)×4%の組み合わせでは、急硬材量 P/(C+P)=14%条件において、目標とする材齢6時間強度を下回る。これに対し、急硬材 P/(C+P)=15%の場合には、目標とする材齢6時間強度を満足することから、10°C条件では、凝結調整剤量および急結剤量は20°Cと同量とし、急硬材量を+1%と配合修正する方法が適切である。一方、5°Cの場合には、急硬材 P/(C+P)=14%の場合には、凝結調整剤量を(C+P)×1.2%とした場合でも材齢6時間強度を満足せず、先に選定した凝結調整剤量(C+P)×

表-5 圧縮強度試験結果(10℃)

急硬材	凝結調整剤	急結剤	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )				σ 6h 判定
			6時間	1日	7日	28日	
14%	1.2%	4%	5.85	8.69	27.3	37.9	×
15%			6.13	9.49	26.1	37.7	◎
16%			6.54	9.98	27.1	37.1	○
18%			7.90	12.9	29.0	39.5	○

表-6 圧縮強度試験結果(5℃)

急硬材	凝結調整剤	急結剤	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )				σ 6h 判定
			6時間	1日	7日	28日	
14%	1.2%	5%	5.50	8.30	24.3	36.2	×
		7%	5.76	7.65	25.2	37.7	×
		9%	5.13	7.34	23.3	35.5	×
15%	1.4%	5%	6.17	9.50	26.0	36.3	○
		7%	6.29	9.05	24.0	33.6	◎
		9%	5.67	8.18	23.6	33.0	×
16%	1.4%	5%	7.08	10.4	26.8	37.5	○
		7%	7.41	9.13	26.3	35.3	○
		9%	6.46	8.59	23.8	34.7	○

表-7 圧縮強度試験結果(高温時)

急硬材	凝結調整剤	急結剤	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )				温度 条件
			6時間	1日	7日	28日	
14	1.4	4	6.20	13.3	28.9	38.7	25℃
	1.6		5.97	15.5	31.8	39.0	30℃

1.4%, 急結剤量(C+P)×7%条件で, 急硬材量を P/(C+P)=15%とする必要がある。

以上より, 低温時の場合には, 10℃程度であれば, 急硬材使用量を若干増大させることで目標品質を満足させることが可能であるが, 5℃程度まで低下する場合には, いずれの特殊混和材も使用量を増大させる必要が生じる。このことから, スリットコンクリート温度が 5℃程度となることが予想される場合には, 保温設備を設置するなどの対策を講じることが経済面, 品質面からも有効であると考えられる。

高温時の圧縮強度試験結果を表-7に示す。なお, ここでは, 先に選定した修正配合での試験結果を示している。25℃の場合には, 急硬材量 P/(C+P)=14%で目標とする材齢 6 時間強度を満足した。30℃の場合は, 同量の急硬材量で, 目標とする 6 時間強度を若干下回ったが, ほぼ満足できる強度であった。この材齢 6 時間強度の低下は凝結調整剤量増加にともなう遅延効果が影響したものと考えられる。一方, 材齢 1 日強度は, 養生温度が高い影響により, 20℃と比

表-8 スリットコンクリートの配合

対象温度 (℃)	水結 合材 比 W/ C+P (%)	細骨 材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			水 W	セメント C	急硬材 P	細骨材 S	粗骨材 G	凝結調整剤 L	急結剤 L
5	50	45	200	340	60 (15%)	762	942	5.6 (1.4%)	28 (7%)
10								4.8 (1.2%)	16 (4%)
20								5.6 (1.4%)	16 (4%)
25								6.4 (1.6%)	16 (4%)
30								6.4 (1.6%)	16 (4%)

較して大きくなる傾向を示した。以上の様に, 高温時の配合の補正方法は, 20℃と比較して, 急硬材量および急結剤量は同量とし, 25℃の場合には凝結調整剤量を+0.2%, 30℃の場合には+0.4%とすることで目標品質を満足するスリットコンクリートが製造可能である。

## 5. まとめ

吉井トンネルにおいて先受け長を 3m とした場合の New PLS 工法に適用するスリットコンクリートの配合選定試験を実施した結果, 表-8に示す配合を選定し, 実施工に適用した。

なお, 吉井トンネルは, 上記の全配合を適用し, 平成 12 年 11 月に無事貫通した。

## 参考文献

- 1) 大塚哲雄, 半田実, 寺村悟, 谷口裕史, 福留和人: トンネル工法用急硬性コンクリートの基本特性, 土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集, VI-127, pp.254~255, 1996.9
- 2) 本村均, 篠崎秀敏, 谷口裕史: New PLS 工法による大断面トンネル拡幅工事-横浜新道(拡幅)保土ヶ谷トンネル-, コンクリート工学, Vol.34, No.9, pp.21~30, 1996.9
- 3) 藤下幸三, 本村均, 寺内伸, 篠崎秀敏, 中川浩二: 切削即時充填式プレライニング工法の実施工への適用, 土木学会論文集, No.602/VI-40, pp.21~34, 1998.9