

論文 低添加型膨張材を用いたコンクリートの基礎物性

保利 彰宏^{*1}・高橋 光男^{*2}・辻 幸和^{*3}・原田 真剛^{*4}

要旨：従来使用されてきた膨張材に比較して，少量にて同等の効果が得られる低添加型の膨張材を提案すると共に，当該膨張材の基礎的な物性として，フレッシュ性状（スランプ・空気量など）や硬化性状（圧縮強度・長さ変化など）の測定結果を報告する。また，「膨張コンクリートがなす仕事量」について従来の膨張材に関して提案されていた理論が，当該膨張材に関する適用できるか否かについても検討を行った。

キーワード：低添加型膨張材，フレッシュ性状，硬化性状，膨張コンクリートがなす仕事量

1. はじめに

現在一般に流通している膨張材は，標準的な使用量がコンクリート1m³に対して30kgである。この度，より少ない使用量にて従来と同等の効果が得られる膨張材 - 低添加型膨張材 - の開発を行ったため，当該膨張材の品質に関して報告すると共に，コンクリートのフレッシュ性状や硬化性状に関する報告する。

2. 実験内容

2.1 低添加型膨張材の特性

従来の膨張材に比較して，少ない使用量にて同等の効果を発揮させるため，膨張材の化学組成，鉱物組成および物理的性質に関して大幅な改良を施した。具体的に記すと表 - 1 ~ 表 - 3 のとおりである。なお，表中には現在流通している代表的な膨張材に関する併記している。

表 - 1 化学組成（代表値）

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	f-CaO
低添加型膨張材	1.0	0.8	7.2	70.6	18.5	49.8
従来品 A	1.5	0.5	16.1	52.8	27.5	19.0
従来品 B	9.6	1.3	2.5	67.3	18.0	30.0

単位；%

表 - 2 鉱物組成（代表値）

	f-CaO	Hauyne	C ₄ AF	C ₃ S	CS	その他
低添加型膨張材	50	10	5	3	30	2
従来品 A	20	30	2	5	40	2
従来品 B	30	-	4	27	30	9

表 - 2 において，C：CaO，A：Al₂O₃，S：SiO₂，F：Fe₂O₃，S：SO₃，Hauyne：C₃A₃CS

単位；%

表 - 3 物理的性質（代表値）

	ig-loss(%)	密度	ブレンソ値(cm ² /g)
低添加型膨張材	1.2	3.10	2800
従来品 A	1.3	2.98	2900
従来品 B	0.4	3.14	3500

単位；%

*1 電気化学工業 (株) 特混事業部 工修 正会員

*2 電気化学工業 (株) セメント特混研究所長 工修

*3 群馬大学教授 工学部建設工学科 工博 正会員

*4 群馬大学大学院 工学系建設工学専攻

2.2 使用材料

本試験において、セメントには普通ポルトランドセメント，早強ポルトランドセメント，高炉セメントB種および低熱ポルトランドセメントを使用した。細骨材には姫川水系産川砂，粗骨材には姫川水系産川砂利を用い，混和剤としてはリグニン系のAE減水剤を使用した。また，混和材としては市販の膨張材（カルシウムサルフォアルミネート系）および本論文にて提案する低添加型膨張材を使用した。混和剤には，リグニン系のAE減水剤（標準型）およびポリカルボン酸系の高性能AE減水剤（標準型）を使用した。なお市販の膨張材とは，表-1～表-3における「従来品A」に相当する。

2.3 コンクリート配合

コンクリートの配合として，表-4に示す5配合を用いた。膨張材はセメントに置換する形で使用しているが，標準的な使用量は低添加型膨張材が 20kg/m^3 ，比較となる市販の膨張材は 30kg/m^3 となる。低添加型膨張材の使用量が 20kg/m^3 である根拠については，3.3.1に詳細を

記している。

2.4 試験内容

表-4に，本試験に用いたコンクリート配合の代表例を示した。表-4に記した配合を基に，単位水量やセメントの種類，膨張材の単位量などを変化させ，表-5に記される組み合わせにて試験を実施した。なお，温度に関する注釈が無い項目は，いずれも環境温度 20°C において試験を行っている。

- ・スランプ：JIS A 1101 に準拠
- ・スランプの経時変化：コンクリートの練上り後，0，30，60 および 90 分が経過した時点でスランプを測定した。環境温度は 20°C および 30°C
- ・空気量：JIS A 1128 に準拠
- ・凝結試験：JIS A 6204 に準拠。環境温度 10°C ， 20°C および 30°C にて実施
- ・長さ変化率：JIS A 6202 に準拠。材齢7日以前は 20°C 一定の水中にて，それ以降は 20°C ，60%R.H.の恒温恒湿室にて養生
- ・圧縮強度：JIS A 1108 および JIS A 6202 に

表-4 コンクリート配合例

配合 No	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)					
			水	セメント	混和材料		細骨材	粗骨材
					低添加型膨張材	従来型膨張材		
1	53.5	45.5	167	312	-	-	799	994
2				292	20	-		
3				282	-	30		
4				282	30	-		
5				267	-	45		

混和材料は，セメントに置換する形で混和

表-5 試験の組み合わせ

試験内容	配合 No (表-4 参照)	セメント種*	膨張材使用量 (kg/m^3)		混和剤種
			低添加型膨張材	従来型膨張材	
スランプ	1, 2	N,H,B,L	20	30	AE 減水剤
スランプ経時変化	1, 2	H			高性能 AE 減水剤
空気量	1, 2	N,H,B,L	10~40	10~40	AE 減水剤
長さ変化率	1~3				
圧縮強度	1~3				
仕事量の検討	4, 5	N	30	45	

N：普通セメント，H：早強セメント，B：高炉セメント，L：低熱セメント

準じて測定

- ・仕事量¹⁾の検討：拘束鋼材比を0.67, 1.34 および4.22%に変化させ, JIS A 6202 に準じて長さ変化率を測定した。供試体は20 の水中にて養生を施した。

3. 試験結果

3.1 フレッシュ性状の確認

3.1.1 スランプ測定結果

配合 No.1 および No.2 を基に, 単位水量およびセメントの種類を変化させて練上り直後のスランプを測定した結果を図 - 1 に示す。混和剤 (AE 減水剤) は標準添加量に固定している。使用するセメントによって単位水量とスランプとの関係は異なるが, いずれの配合に関しても低添加型膨張材の混和による影響はほとんど確認されなかった。

3.1.2 スランプ経時変化の測定結果

環境温度を要因として練上り後の経過時間とスランプとの関係を測定した結果を図 - 2 に示す。環境温度によらず, 低添加型膨張材の使用による影響はほとんど確認されなかった。

3.1.3 空気量

配合 No1 および No2 を用い, セメントの種類を変化させて空気量を測定した結果を図 - 3 に示した。低添加型膨張材の混和による空気量への影響はほとんど確認されなかった。

3.1.4 凝結

低添加型膨張材を混和したコンクリートの凝結時間測定結果を図 - 4 に示した。環境温度を要因として測定を行ったが, 低添加型膨張材の混和による凝結時間への影響はほとんど確認されなかった。

3.1.5 低添加型膨張材の単位量とスランプ・空気量との関係

配合 No.1 および No.2 を基に, 低添加型膨張

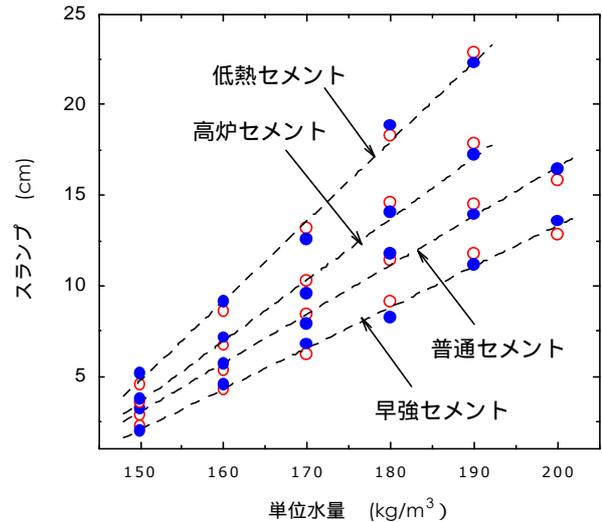


図 - 1 スランプの測定結果

(○ : 低添加型膨張材あり ● : 膨張材なし)

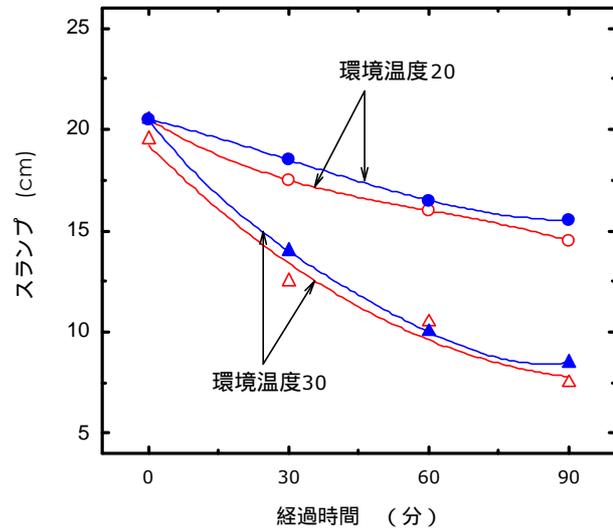


図 - 2 スランプ経時変化の測定結果

(○ : 低添加型膨張材あり ● : 膨張材なし)

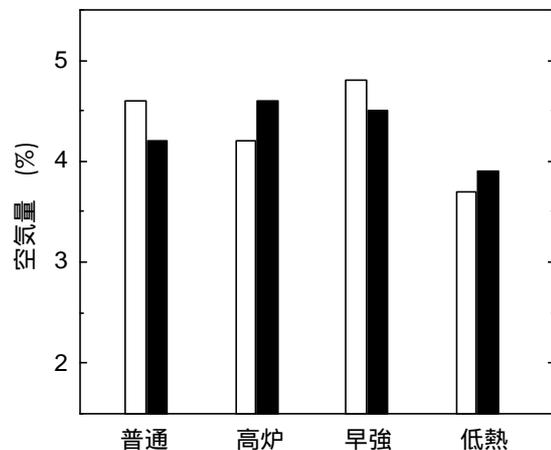


図 - 3 空気量の測定結果

(○ : 低添加型膨張材あり ● : 膨張材なし)

材の単位量を要因としてスランプ・空気量を測定した。結果を図 - 5 に示す。低添加型膨張材の混和量によらず、スランプ・空気量はほぼ一定であることが確認された。

3.2 硬化性状の確認

3.2.1 長さ変化率

配合 No.1 および No.2 を用い、低添加型膨張材を 20kg/m^3 混和することで、コンクリートの長さ変化率に及ぼす影響を測定した。結果を図 - 6 に示す。供試体の養生条件は、材齢 7 日以前については 20 一定の水中養生、7 日以降は 20 , 60%R.H.の恒温恒湿養生である。

低添加型膨張材の混和によって、材齢 7 日までにコンクリート供試体は 200×10^{-6} 程度の膨張ひずみを生じ、その後乾燥によって収縮している。一方、膨張材を混和しない配合は乾燥による収縮のみが発生しており、両者の差は長期的にも同等となる傾向が確認された。

3.2.2 圧縮強度

配合 No1 および No2 を用い、低添加型膨張材を 20kg/m^3 混和することで、圧縮強度に及ぼす影響を測定した結果を図 - 7 に示す。図より、単位量が 20kg/m^3 であれば、低添加型膨張材による圧縮強度への影響はほとんど確認されなかった。

3.3 低添加型膨張材と従来の膨張材との関係

3.3.1 膨張ひずみ

本論文にて提案する低添加型膨張材における最大の特徴は「従来の膨張材と比較して、少ない量にて同等の効果が得られる」点にある。ここで「同等の効果」とは、膨張材の混和によってコンクリートに導入される膨張ひずみを指し、例えば「膨張コンクリート設計・施工指針（土木学会）²⁾」におい

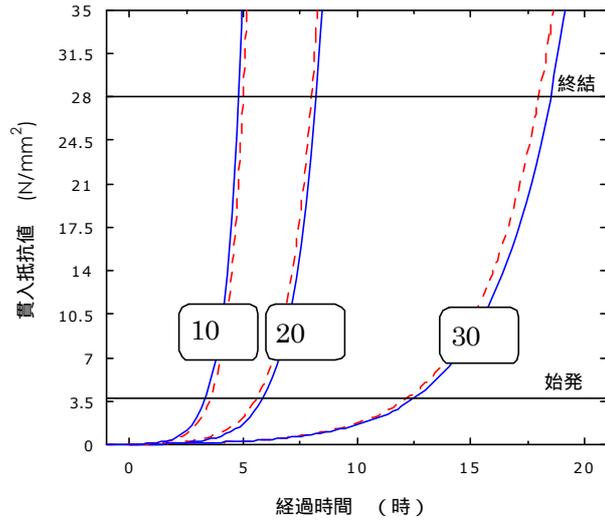


図 - 4 凝結試験結果

(— : 低添加型膨張材混和 : 膨張材なし)

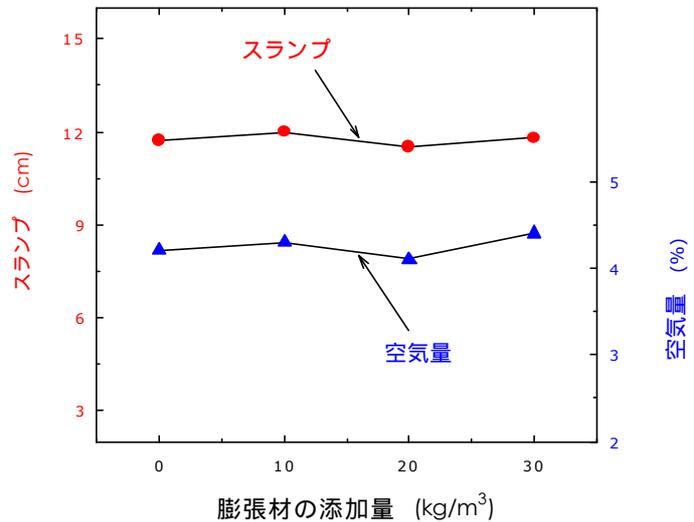


図 - 5 低添加型膨張材とスランプ・空気量との関係

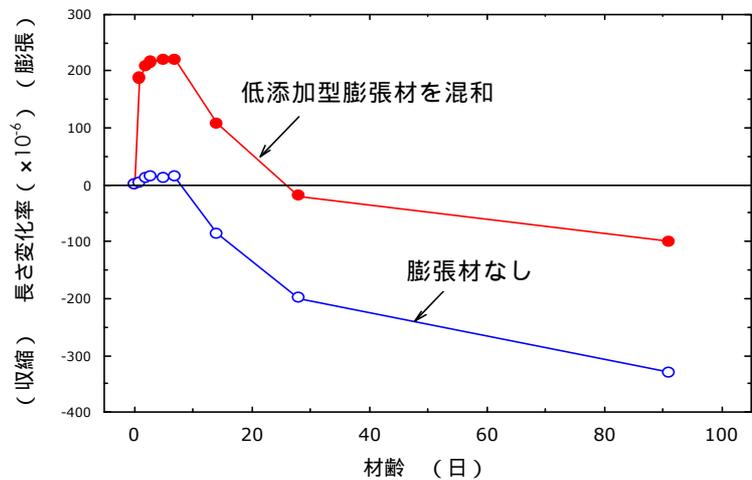


図 - 6 長さ変化率測定結果

では、「収縮補償（ひび割れ低減）を目的とする場合、JIS A 6202 に準ずる方法にて測定した膨張ひずみ（材齢 7 日）が、膨張材の混和によって $150 \sim 250 \times 10^{-6}$ 得られることが必要である」と規定している。

そこで、膨張材の単位量を $10 \sim 40 \text{kg/m}^3$ の範囲にて変化させ、長さ変化率（膨張率）を測定した結果を図 - 8 に示した。横軸が膨張材の単位量、縦軸は材齢 7 日における膨張率である。また、図中に記したひずみの範囲が土木学会によって規定される膨張ひずみ（ $150 \sim 250 \times 10^{-6}$ ）である。

結果より、低添加型膨張材は従来の膨張材に比較して、およそ $2/3$ の量、すなわち 20kg/m^3 の使用量にて従来と同等の膨張ひずみを得ることができることがわかる。

3.3.2 圧縮強度

膨張コンクリートにおいて、圧縮強度に関する規定は特に設けられていないが、膨張材の混和によって極端に強度が変化することは望ましくない。そこで低添加型膨張材の単位量を要因として圧縮強度の比較を行った。結果を図 - 9 に示す。図は横軸が膨張材の単位量、縦軸が材齢 28 日における圧縮強度である。

図を見ると、単位量に伴う圧縮強度の低下は低添加型膨張材が大きい。しかし、3-3-1 に記した「収縮補償を目的とした単位量」の範囲においては、従来型の膨張材同様、圧縮強度の低下はほとんど見られない。

3.3.3 「仕事量」¹⁾の概念

既往の報告¹⁾によれば、膨張材による膨張を外的に拘束する要因である拘束鋼材の量によって、ケミカルプレストレスは変化するが、「膨張コンクリートがなす仕事量」はほぼ一定であるとの報告がなされている。ここで「膨張コンクリートがなす仕事量」とは、式(1)によって与えられる数値であり、「単位体積あたりの膨張コンクリートが拘束鋼材に対してなす仕事量」

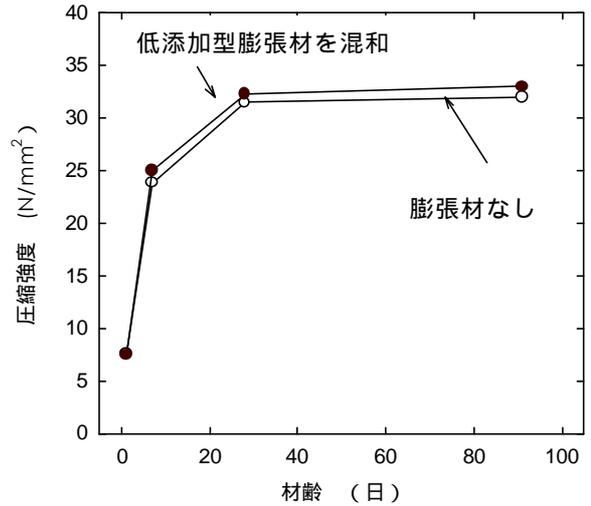


図 - 7 圧縮強度測定結果

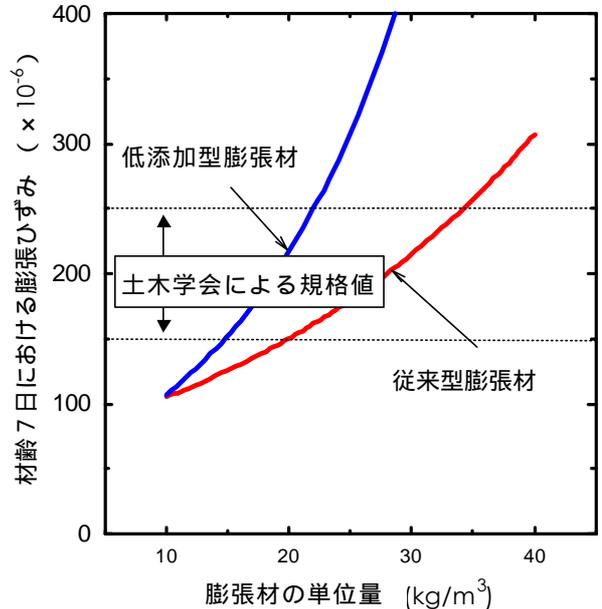


図 - 8 膨張材の単位量と膨張ひずみとの関係

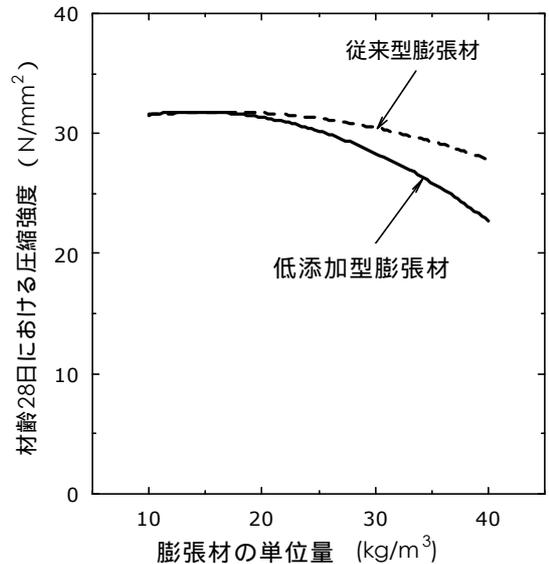


図 - 9 膨張材の単位量と圧縮強度との関係

を指す。

$$U = 0.5 \times c_p \times \quad (1)$$

$$c_p = \quad \times E_s \times (A_s / A_c) \quad (2)$$

ここに

U：仕事量 (N/mm²)

c_p：ケミカルプレストレス
(N/mm²)

：膨張ひずみ (×10⁻⁶)

E_s：拘束鋼材の弾性係数
(198,000N/mm²)

A_s/A_c：拘束鋼材比(%)

配合 No.4 および No.5 を用い、拘束鋼材 (比を 0.67, 1.34 および 4.22% の 3 水準に変化させた上で測定した膨張ひずみより、式 (1)(2) を用いて算出した仕事量を 図 - 10 に示した。図中、実線が低添加型膨張材、破線が従来の膨張材に関する試験結果である。膨張材の種類によって比較した場合、材齢 14 日における仕事量は差が小さいものの、初期材齢 (特に材齢 3 日) においては、低添加型膨張材の仕事量が大きく、材齢と仕事量との関係に関しては膨張材の種類による影響が確認された。一方、拘束鋼材比にて結果を比較すると、拘束鋼材比の増加に伴って仕事量が若干減少しているが、これはクリープおよび弾性変形量を考慮していないためであり、既往の報告¹⁾と同様の傾向を示している。

4. 結論

本試験では、低添加型の膨張材を新たに提案するとともに、当該膨張材の基礎物性 (フレッシュ性状、硬化性状) を確認した。また、膨張ひずみおよび圧縮強度に関して従来の膨張材との比較を行うとともに、従来の膨張材に関して提案されている仕事量の概念が当該膨張材についても適用できるか否かについても検討を行った。本試験の範囲内にて得られた結論を以下に記す。

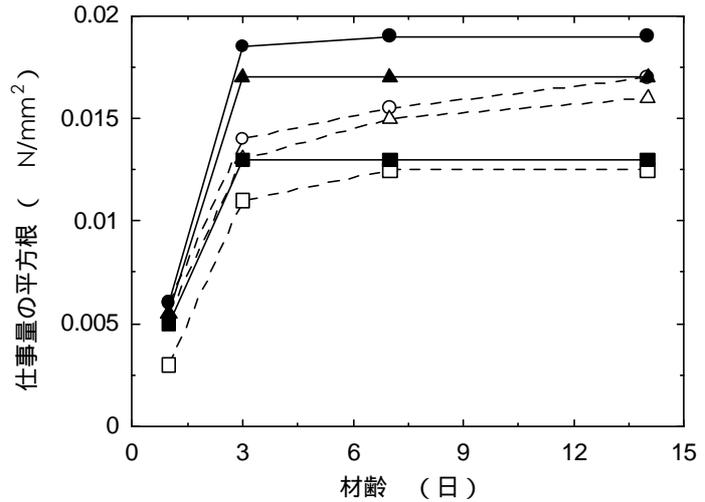


図 - 10 仕事量の算出結果

○：低添加型膨張材，△：従来型膨張材)
□：拘束鋼材比 0.67%，△：1.34%，○：4.22%

- (1) 低添加型膨張材は、従来の膨張材に比較して 2/3 の混和量にて所定の性能 (膨張ひずみ) を満足できることが確認された
- (2) 低添加型膨張材によって、コンクリートのフレッシュ性状 (スランプ・空気量・凝結時間) に及ぼす影響はほとんど確認されなかった
- (3) JIS A 6202 に準ずる膨張ひずみが、おおむね 250×10^{-6} 以下となる添加量においては、低添加型膨張材による圧縮強度への影響はほとんど確認されなかった
- (4) 「膨張材コンクリートがなす仕事量」に関する既往の概念は、低添加型膨張材に関しても適用できることが確認された。しかしその挙動は従来の膨張材とは若干異なる傾向が見られた

参考文献

- 1) 辻幸和, コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, 第 235 号, pp.111-124, 1975
- 2) 膨張コンクリート設計施工指針, 土木学会, pp.5-6, 1993