

報告 PCLNG 貯槽における高強度・自己充てんコンクリートの製造・施工管理

川島宏幸^{*1}・岡田 茂^{*1}・西崎丈能^{*2}・近松竜一^{*3}

要旨：地上式としては世界最大の容量 18 万 kl の PCLNG 貯槽の建設において、その PC 防液堤 (1.2 万 m³) に高強度 (設計基準強度 ; 60N/mm²) の自己充てんコンクリートを採用しコンクリート工事の合理化を図った。1 回あたり約 1,000m³ の打設は、5 工場以上の市中生コンプラントから同時にコンクリートを製造・出荷し、10 回に分割してほぼ 1 年にわたって施工した。本報告では、当該工事での高強度・自己充てんコンクリートの製造および施工における品質管理とその結果について述べる。

キーワード：PCLNG 貯槽、自己充てんコンクリート、高強度、品質管理、合理化施工

1. はじめに

大阪ガスでは、液化天然ガス(LNG)の貯蔵に関する長年の研究開発成果に基づき、1990 年以降、PCLNG 貯槽を採用している。PCLNG 貯槽は、従来の金属二重殻構造の地上式タンクと PC 防液堤を一体化した新形式の LNG 貯槽で、安全性・信頼性に優れ、経済的で敷地の利用効率の向上も図ることができるという特長を有する。大阪ガスの泉北製造所第二工場には既に 14 万 kl

容量の PCLNG 貯槽が 2 基完成、稼動しており、現在、3 基目の建設を進めている (写真-1)。

最新の貯槽は、この貯槽型式の特長を更に活かして、容量を地上式貯槽としては世界最大の 18 万 kl とした (図-1)¹⁾。この建設にあたっては、PC 防液堤躯体コンクリートの全て (1.2 万 m³)

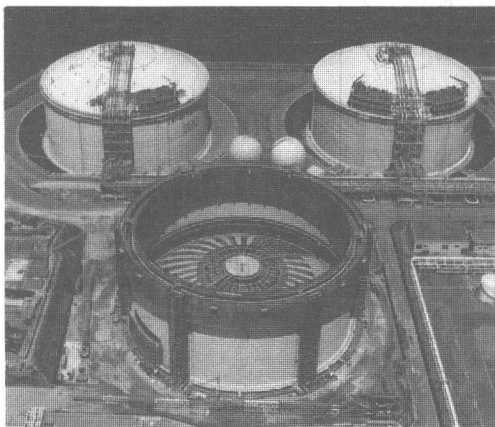


写真-1 18 万 kl 容量の PCLNG 貯槽 (建設中) と 2 基の 14 万 kl 貯槽 (1998.5 撮影)

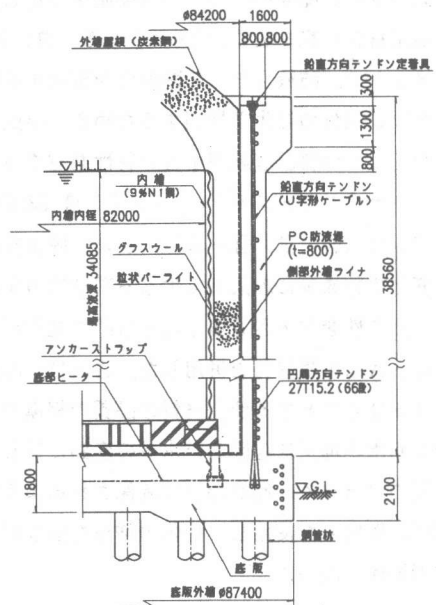


図-1 18 万 kl PCLNG 貯槽 断面図

*1 大林・鴻池共同企業体 大阪ガス泉北JV工事事務所 (正会員)

*2 大阪ガス(株) エンジニアリング部 土木建築技術チーム 副課長 工修 (正会員)

*3 (株)大林組 技術研究所 土木第三研究室 研究員 工修 (正会員)

に高強度（設計基準強度：60N/mm²）の自己充てんコンクリートを採用してコンクリート工事の合理化を図り、14万klから18万klへの容量の増加に伴う建設工事費の増加と工期の延長の抑制を実現した²⁾。1回あたり約1,000m³の打設は、5工場以上の市中生コンプラントから同時に自己充てんコンクリートを製造・出荷し、10回に分割してほぼ1年にわたって施工した。

ここでは、当該工事での高強度・自己充てんコンクリートの製造および施工における品質管理とその結果について述べる。

2. コンクリートの材料・配合

自己充てんコンクリートの配合条件を表-1に示す。締固め不要の自己充てん性の評価は、U型充ん試験における充てん高さ（障害R2）を指標とし、その目標値を300mm以上とした。フレッシュコンクリートの流動性管理は、スランプフロー、O漏斗流下時間を指標とし、所要の自己充てん性が確保される範囲内で各々の目標値を設定した。

使用材料を表-2に、示方配合を表-3に示す。セメントは、防液堤として貯液性を確保する観点からひび割れの発生を抑制するために、発熱量が少なく、かつ自己収縮が小さい特性を有する低熱ポルトランドセメント³⁾（ピーライト量63%）を採用した（図-2、図-3）。また、硬化後の温度変化や乾燥等に起因して生じる残留応力を低減し、耐久性を向上させることを目的に混和材としてCSA系の膨張材を併用した。さらに、海砂の粒度をはじめとする使用材料の品質の相違や骨材の表面水率補正に起因した水量の変動に対しても、所要の自己充てん性が確実に確保されるように、石灰石微粉末を使用して粉体の増量を図り材料分離抵抗性を高めた。

混和剤としては、ポリカルボン酸塩を主体とする高性能AE減水剤を使用し、練上がりから打込み完了までの時間の範囲内で所要の流動性が保持されるように、温度条件に応じて高性能AE減水剤タイプ(常温・高温用)および使用量を調整した。

表-1 高強度・自己充てんコンクリートの配合条件

粗骨材の最大寸法 (mm)	設計基準強度 (N/mm ²)	U型充てん高さ (mm)	スランプフロー (mm)	O漏斗流下時間 (sec)	空気量 (%)	塩化物イオン量 (kg/m ³)
20	60	≥300	650	10	4.5	≤0.25

表-2 使用材料

材料	記号	種類	密度 (g/cm ³)	摘要
セメント	C	低熱ポルトランドセメント	3.24	アレン値 3400 cm ² /g
膨張材	EX	CSA系	2.91	アレン値 2600 cm ² /g
混和材	LS	石灰石微粉末	2.71	アレン値 5700 cm ² /g
細骨材	S	海砂	2.55	F.M.:2.50(代表値)
粗骨材	G	砕石 2005	2.63	F.M.:6.60(代表値)
混和剤	SPA	高性能 AE 減水剤	1.06	ポリカルボン酸系

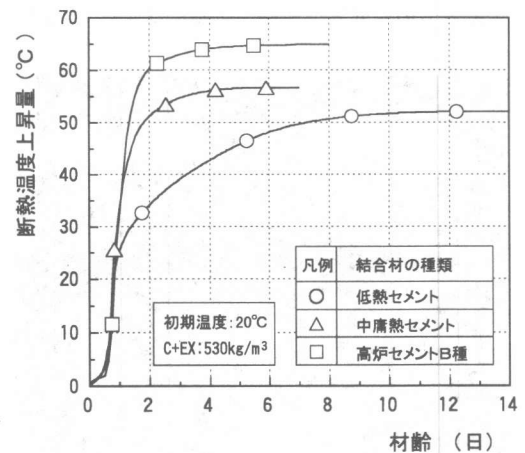


図-2 コンクリートの断熱温度上昇特性

表-3 高強度・自己充てんコンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	自己充てん性ランク	水結合材比 (%)	水粉体容積比 (%)	空気量 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)						SPA (P×%)
						W	C	EX	LS	S	G	
20	2	33.0	92.1	4.5	0.300	175	515	15	70	737	789	調整

3. コンクリートの製造管理・受入れ検査

自己充てんコンクリートは締固めを行わない施工を前提としているため、ごく一部でも自己充てん性能の劣るコンクリートを打設すると、構造物の品質を損なう可能性がある。そのため、5工場以上の生コンプラントから同時に製造・出荷(200~250m³/hr)する全てのコンクリートの自己充てん性を管理し、それを現場で検査して打設する品質管理システムを新たに確立する必要があった。

当現場で実施した品質管理および検査のフローの概略を図-4に示す。まず製造過程での管理に、コンクリート中の練混ぜ水量の変動を迅速に捉える指標として練混ぜ終了時のミキサ負荷値を用いた。つぎに現場受入れ段階では、このミキサ負荷値を各バッチ連続して監視し、大きく変動したバッチがあった場合に品質確認試験を実施した。最後に荷卸し段階で、自己充てん性の全量検査試験装置(図-5)の鉄筋障害物の通過状況を確認し、コンクリートの自己充てん性能を検査した。

3.1 製造管理

練混ぜには二軸強制練りミキサを使用し、1バッチの量を2.25m³とした。練混ぜ方法は、まず、骨材、セメント、混和材を投入し空練りを30秒間行ったのち、混和剤を溶解させた練混ぜ水を投入し、さらに120秒間本練りを行った。

製造管理は、練混ぜ終了時のミキサ負荷値が予め定めた目標値になるように、各バッチ毎に直前の練混ぜバッチの状況に基づいて水量を補正操作するという方法で行った。事前に実施した実機試験練り結果より各生コンプラントごとに作成した

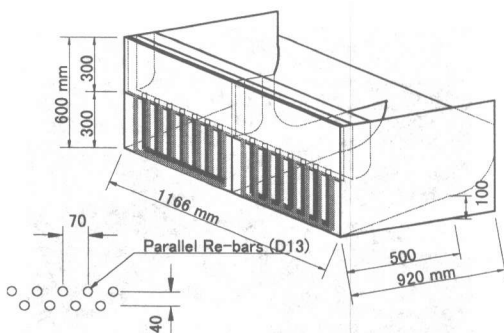


図-5 自己充てん性の全量検査試験装置

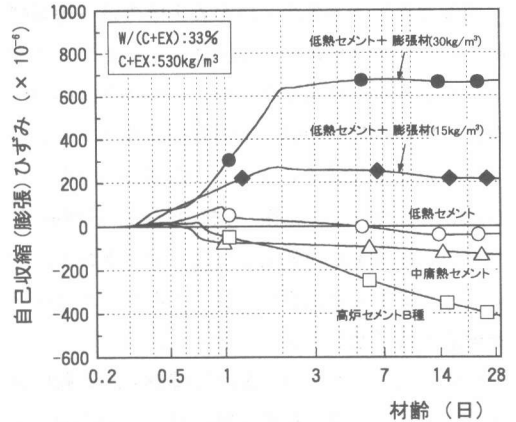


図-3 コンクリートの自己収縮特性

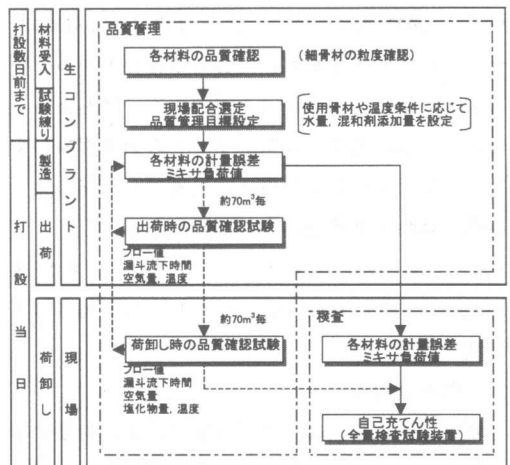


図-4 コンクリートの品質管理・検査フロー

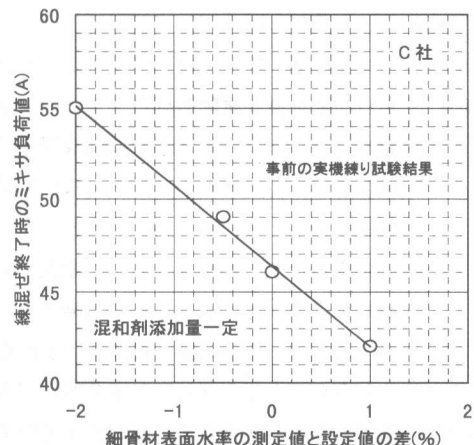


図-6 細骨材表面水率の測定値と設定値の差と練混ぜ終了時のミキサ負荷値の関係

「細骨材表面水率の測定値と設定値の差－練混ぜ終了時のミキサ負荷値」の関係図をもとに、オペレータが水量を補正操作した。この関係図の一例を図-6に、この時の水量の変動に伴うフレッシュ性状の変化を図-7示す。この関係図をもとに水量を補正操作した結果、骨材の貯蔵が野積みで、骨材の表面水率が手動測定の実コンプラントにおいても、安定した品質の自己充てんコンクリートを製造することができた(図-8)。

出荷時のコンクリートの品質確認は、流動性をスランブフローで、材料分離抵抗性を間接的にモルタルの漏斗流下時間で行った。コンクリートの漏斗流下時間は、コンクリートが均質に流下する場合は、塑性粘度に応じて流下時間が長くなるが、モルタル相の粘性が低い場合には骨材のかみ合いにより流下時間が見かけ上増加することもある⁴⁾。そこで、自己充てんコンクリートの製造実績の少ない生コンプラントの専任技術者でも、漏斗流下時間と粘性の関係を即座に判断できるようにするため、5mmふるいでスクリーニングした、粗骨材同士の干渉要因を取り除いたモルタルの漏斗流下時間を測定した。

3.2 受入れ検査

現場受入れ時には、まず強度発現を含む硬化後の性能について、納品書とともに添付されたバッチごとの自動計量印字記録により、受け入れたコンクリートが所定の材料・量で練り混ぜられたものであることを確認した。

自己充てん性に関しては、ポンプ車のホップの手前に配置した全量検査試験装置に全てのコンクリートを通し、コンクリートがこの試験装置の二重の障害物を通過する、あるいは通過しないで検査した(写真-2)。この障害物は示方配合を決定する際に設定した充てん性レベル；U型充てん高さ300mmの可否の判定に適していると考えられているものである⁵⁾。この試験装置は受け入れたコンクリートの自己充てん性について打設の可否のみを評価するものであるため、自己充てん性の要素評価として、スランブフローとO漏斗流下時間を約70m³毎(アジテータ車15台毎)に測定

した。また、圧縮強度用供試体は、現場荷卸し時に135m³毎(アジテータ車30台毎)に採取した。各種品質試験結果の一覧を表-4に、スランブフローとO漏斗流下時間の統計処理結果を図-9、図-10に示す。フレッシュ時の品質試験結果の

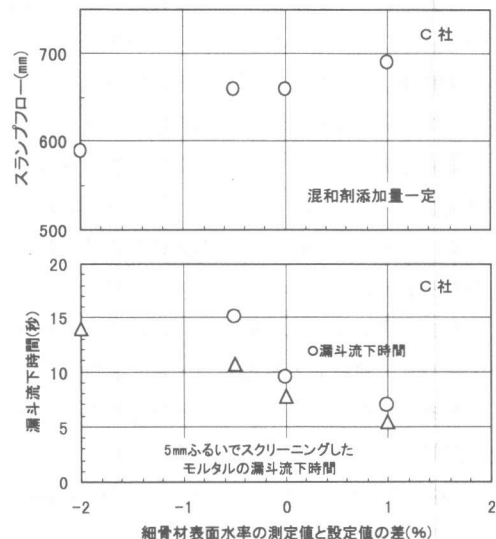


図-7 水量の変動に伴うフレッシュ性状の変化

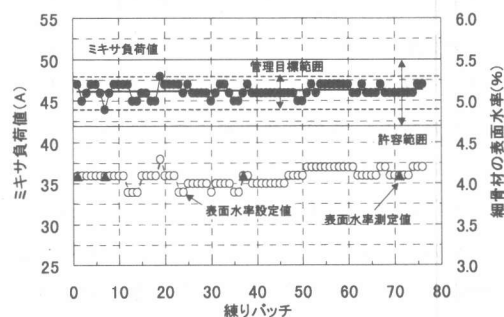


図-8 練混ぜ終了時のミキサ負荷値と細骨材表面水率の測定値・設定値の一例

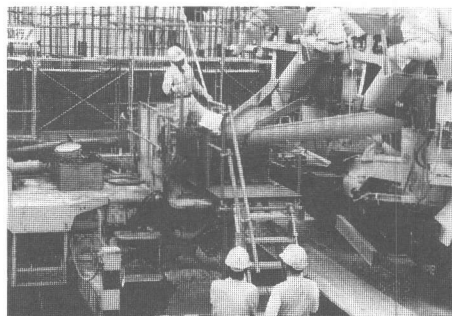


写真-2 自己充てん性の受入れ検査

平均値は目標値とほぼ一致しており、十分な精度でフレッシュコンクリートの品質を管理することができた。

工事開始当初、モルタル相の粘性の低いコンクリートが全量検査試験装置を通過した際、粗骨材のみが徐々に障害物で止まりやがて閉塞したケースが認められたが、即座に製造ヘフィードバックして対処した。

4. 施工管理

打設は、各定着柱ごとに配置したポンプ車(計6台)にて鉛直上向き(最大約40m)に打設天端まで圧送し、その後左右に分岐した水平配管に設けた吐出口から1箇所あたり約10m³/hrの速度で打ち込んだ(図-11)。防液堤全周(約270m)に均等に配置した24箇所の吐出口から投入することにより、水平方向の流動距離は概ね6mで、その流動勾配は1/10以下(平均1/30程度)とかなり緩やかな勾配であった。打設中は打設管理本部にて、自己充てん性の全量検査試験装置における通過状況と6台全てのポンプ車の圧送状況をモニター画面で常時監視し、品質と打設速度を集中管理した。

アジテータ車1台のコンクリート(4.5m³)の荷卸しに要した時間の一例を図-12に示す。計画圧送速度(約40m³/hr)を満たす荷卸し時間(約6.5分)に対し荷卸しの平均時間は約6分となり、全体としてほぼ目標通りの速度で施工することができ、約1,000m³/ロットを5時間で打設完了した。

5. まとめ

地上式LNG貯槽としては世界最大の容量18万klのPCLNG貯槽の建設に高強度・自己充てんコンクリートを適用した結果、得られた知見を以下に示す。

(1) 練混ぜ終了時のミキサ負荷値を製造管理指標とし、かつ温度条件に応じた適切な配合を選択

表-4 コンクリートの品質試験結果

項目	許容範囲	度数	平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数
スランブフロー(mm)	(650)	237	660	725	580	27	4.0%
○漏斗流下時間(秒)	(10)		9.5	14.5	5.1	1.4	14.7%
空気量(%)	4.5±1.5		4.0	5.9	3.0	0.6	15.5%
圧縮強度(N/mm ²)	材齢7日	114	31.5	45.5	23.4	3.2	10.2%
	材齢28日		64.4	80.6	45.8	4.2	6.6%
	材齢91日		≥60	89.0	101.0	66.7	4.5

()内は管理目標中心値

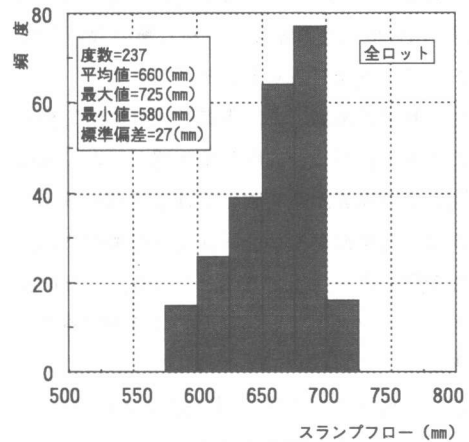


図-9 スランブフローの統計処理結果

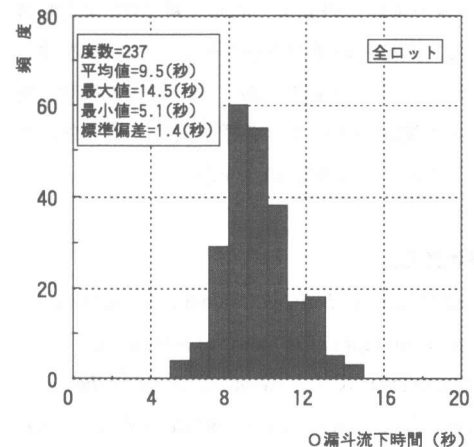


図-10 ○漏斗流下時間の統計処理結果

することにより、所要の品質を有する高強度・自己充てんコンクリートを製造できる。

(2) 現場荷卸し時で受け入れた全てのコンクリートの自己充てん性を全量検査試験装置を用いて検査した結果、材料分離抵抗性に劣るコンクリートは粗骨材が徐々に障害物で止まりやがて閉塞に

至り、材料分離抵抗性に劣るコンクリートをこの検査装置で検知することができた。一方、これ以外の全てのコンクリートはこの検査装置を閉塞することなく通過し、さらに脱型後の躯体コンクリートの出来形も良好だったことから、型枠内に打ち込まれた全てのコンクリートは所要の自己充てん性を有していたことが実証された。

(3) 打設速度と打込み高さを管理することにより、防液堤全周を均等に打ち上げ水平方向の流動距離を6m程度にした結果、材料分離のない均質なコンクリートを打設することができた。

(4) 打設管理本部にて、現場受入れ段階で全バッチのミキサ負荷値を連続して確認し、かつ荷卸し段階で全量検査試験装置における通過状況とポンプ車の圧送状況をモニタ画面で常時監視する集中的な管理方法を採用することにより、所要の品質を有したコンクリートを合理的に打設することができた。

最後に、東京大学 岡村 甫教授には自己充てんコンクリートを適用するにあたり多大なるご指導ならびにご助言を賜りました。建設省土木研究所 小澤一雅主任研究員、高知工科大学 大内雅博講師には充てん性能の検査に関してご助言を頂きました。また、宇部興産(株)、(株)ポゾリス物産、電気化学工業(株)の皆様には各種試験にご協力頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) H.Kitamura, K.Ukaji, H.Okamura: Improvement of Ductility and Liquid-tightness of Prestressed Concrete for LNG Containment, *Proc. of the International Congress on Concrete in the Service of Mankind, Dundee, U.K.*, pp.469-479(1996.6)
- 2) Kitamura,H. et al. : Construction of Prestressed Concrete Outer Tank for LNG Storage Using High-Strength and Self-Compacting Concrete, *International Workshop on Self-Compacting Concrete, Kochi, Japan*(1998.8)

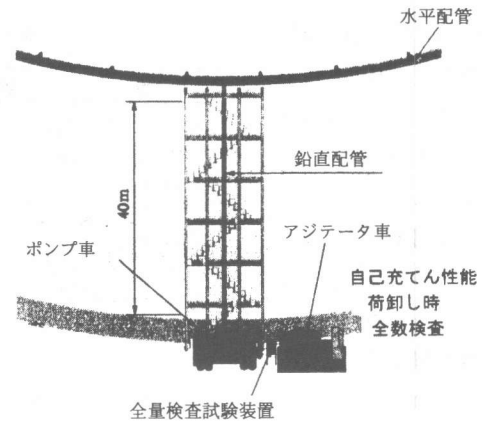


図-11 打設方法の概略図

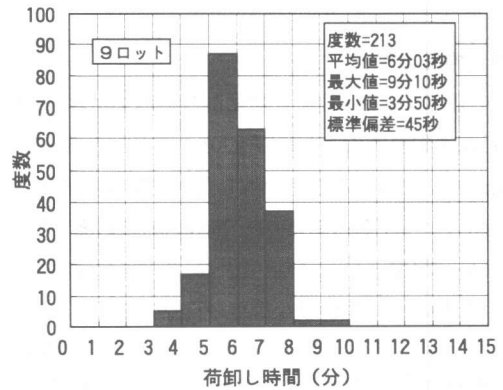


図-12 荷卸し時間(アジテータ車1台あたり)

- 3) 竹田宣典, 松永 篤, 近松竜一, 十河茂幸: 低熱ポルトランドセメントと膨張材を用いた低収縮コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No.2, pp.997-1002, 1998. 6
- 4) 平田隆祥, 竹田宣典, 三浦律彦, 十河茂幸: 高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす骨材粒度の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17, No.1, pp. 81-86, 1995. 6
- 5) 大内雅博, 小澤一雅, 岡村 甫: 打設現場における自己充填コンクリートの受入検査用全量試験の開発, 自己充填コンクリートセミナー論文報告集, 土木学会コンクリート技術シリーズNo. 19, pp. 89-94, 1997. 5