

桐山 光市

ここに報告する高温消化と中温消化の比較実験も主としてこの有機物分解率とガス発生量に及ぶ温度の影響を調べるために行ったものである。

図一に示される実験装置を2系列作り、それぞれの恒温槽水温を 5°C と 37°C に設定して並行的に運転した。消化槽内液量は6ℓで、運転方法としては、20日消化の場合は1日置きに、10日消化の場合には毎日600mlの消化汚泥を引抜き600mlの生汚泥を投入するセミ連続運転法を採用した。その過渡期の15日消化では、毎日400mlの汚泥を交換した。実験に供した生汚泥は、下水処理場の混合濃縮汚泥である。実験期間中2度に分けて採取し、初回採取分は12月19日～3月16日、次回採取分は3月16日～4月30日の実験期に用いた。双方の汚泥は後記表一に見るように、濃度、有機物分率とも大差はないが、次回採取分汚泥は蛋白質がやや多い。採取汚泥は実験に使用中 5°C に冷蔵したが、それでも酸醗酵が生じ、揮発性有機酸濃度は採取直後の $1000\text{mg}/\ell$ から使用末期には $3000\text{mg}/\ell$ 前後に達した。

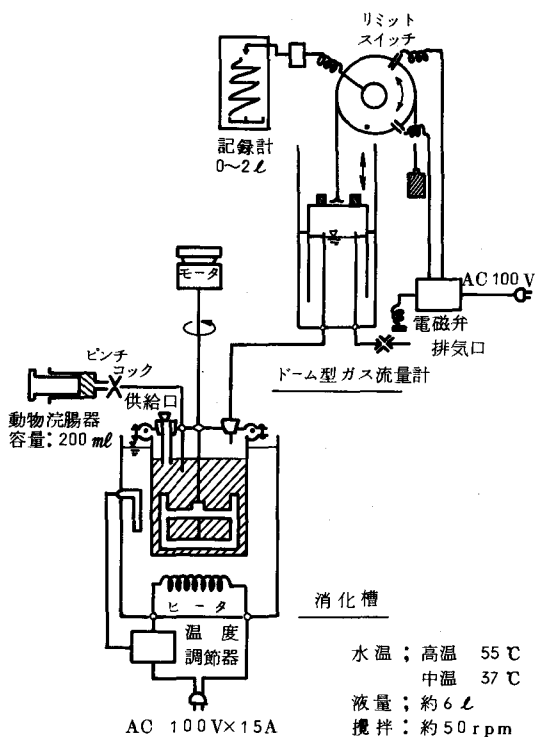


図-1 実験装置の概略

化汚泥を高温消化汚泥は約7ヶ月間、中温消化汚泥は約3週間実験温度に馴養したものである。

日常分析として投入汚泥、消化汚泥についてpH、アルカリ度、TS、VS、揮発性有機酸（GC法）を測定した。このうち投入汚泥については、その測定値の変動が少ないので実験後半期には分析頻度を減らした。この日常分析とは別に7日～15日に1度の割合で、投入汚泥、消化汚泥のCOD_{cr}、蛋白質（ビュレット法）、炭水化物（フェノール流酸法）、TKN、全PO₄³⁻を分析した。また同時に、これらの汚泥を約1万Gで遠心分離した脱り液についてCOD_{cr}、NH₃-N、O-PO₄³⁻を分析した。

ガス組成もGC法で測定した。本実験に用いたドーム式ガス流量計は、ドーム内の貯留ガスが2ℓに達すると排気電磁弁が自動的に開き瞬時に排気し、再びガスを貯留する機構になっている。1日当りの発生ガス量は2ℓより多いので、発生ガス全体の組成分析はできなかった。そこで、汚泥の交換操作時にドームに貯留されていたガスと交換操作後に貯留される最初の2ℓのガスについて組成分析を行ない、その平均値をガス組成とした。

3. 実験結果と考察

1) 全般的消化状況

高温消化、中温消化とも12月中旬より約2ヶ月間、20日消化で運転し、その後1週間の15日消化をはさんで4月末日まで10日消化で運転した。この間の日常分析値を図-2、図-3に示す。図中、日当り発生ガス量は2日間ごとの発生量を平均化して示してある。

20日消化期にあつては、高温消化、中温消化とも安定した消化が行われた。高温消化と中温消化を比較した従前の研究では、高温消化では揮発性有機酸が蓄積し易いとの報告例⁽³⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾が多いが、この実験ではそのような現象は観察されなかった。20日消化期では高温消化と中温消化の揮発性有機酸濃度は200mg/ℓ以上に維持され、その組成にも差異はなかった。大部分は酢酸とプロピオン酸で、酢酸は30～170mg/ℓの範囲で常に存在したが、プロピオン酸は酢酸に比べて低く、全く検出されないこともあった。その他の揮発酸、とりわけ生汚泥にかなりの量が存在していたn-酪酸はほとんど検出されなかった。

20日消化期のデータで双方の間に有意差が認められたのはpHとアルカリ度で常に高温消化の方が高かった。双方の消化液とも12月初旬までpH、アルカリ度が低減傾向にあるが、これはここに報告する実験以前に用いた蛋白質の多い投入汚泥の影響が残っていたためである。この影響が無視できる12月中旬以降についてみると、中温消化に比べ高温消化はpHが0.3程度、アルカリ度が500mg/ℓ as CaCO₃程度常が高かった。このような差異は、これ迄の研究でも指摘されてきたが、その原因は、後述するように両消化液NH₃-N濃度の差異にあると思われる。

図-2に見るごとく運転条件を10日消化に切換えて2週間ほど経過してから、中温消化で揮発性有機酸が蓄積し初め、それとともにガス発生量、pH、アルカリ度が低下した。この酸敗現象は開始後約10日間は悪化の一途で、3月10日前後には、全揮発酸濃度（C₂～C₅酸の合計濃度）は3300mg/ℓ、pHは6.4にも達し、ガス発生量も高温消化の4割程度に低下した。しかし、その後は自然と回復して約25日後には正常に復した。興味深いことに、酸敗時にはVS分解（液化）も悪化した。図にみるごとく酸敗時の消化汚泥VS濃度は、その前後の正常時のVS濃度よりも明らかに高く、同時期の高温消化の消化汚泥VS濃度より高い。後記の表-1にみるように、蛋白質の分解は、この酸敗時においても20日消化に劣らずよく進行していたが、炭水化物の分解が不十分であった。

酸敗時における個別揮発酸の挙動をみると、酸敗進行期にはまず酢酸が蓄積し、しばらく間をおいてからプロピオン酸、酪酸、吉草酸などが蓄積した。これに対して酸敗退行期は、まず酢酸の減少に始まり、それに追隨して、酪酸、吉草酸がn-型、iso-型の順で消失した。プロピオン酸は他の酸の低減期にあつてもなお増加し、酢酸を除く他の酸が検出不能に近い濃度に達してから急速に減少した。このような揮発酸の低減順序は演者らが行った他の実験でも繰返し観察されており、かなり一般的な現象と思われる。

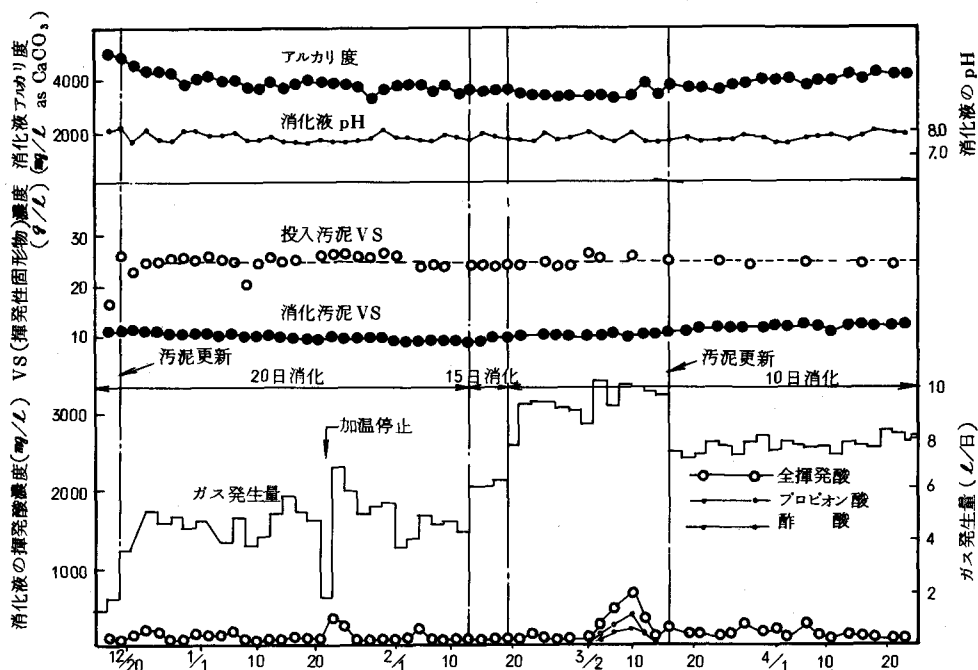


図-2 下水汚泥の高温(55℃)消化主要データ

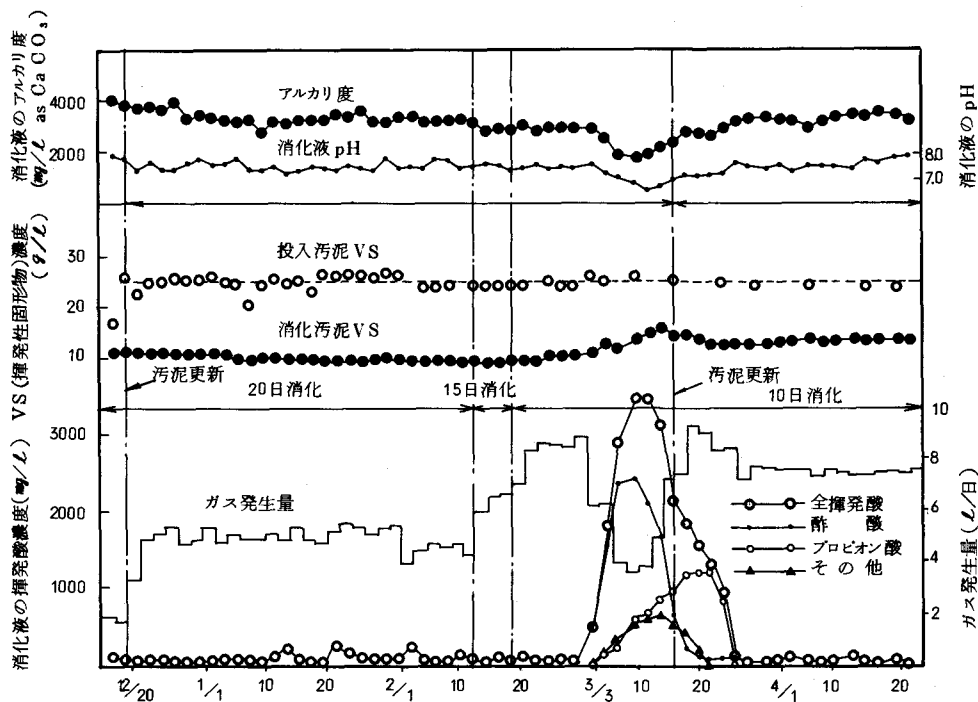


図-3 下水汚泥の中温(37℃)消化主要データ

酸敗現象が生じた原因は不明である。高尾らの研究結果⁽¹⁰⁾を参考にすると20日消化で酢酸の分解を行っていたメタン生成菌が先出され、別種のメタン生成菌が卓越する迄の過渡現象と解釈することも出来る。しかし、高温消化でも同時期に低濃度ではあるが、酢酸とプロピオン酸が蓄積しており、この時期の投入汚泥にメタン菌阻害物が混入していたことも考えられる。

酸敗回復後は中温消化も安定したガス発生を示したが、その量は高温消化に比べやや少なかった。しかし揮発性有機酸濃度は100 mg/l、前後に維持され、高温消化とは有意差がなかった。

2) 汚泥及び脱り液

表-1 汚泥組成と脱離液の分析結果

不定期的に行った汚泥及び脱離液の分析結果を表-1に示す。20日消化のデータは、12月25日以後5回の分析の平均値で、10日消化のデータとしては、中温消化の酸敗が最も激しかった3月中旬の分析結果と酸敗回復後4回の分析平均値が併記してある。

	20日消化			10日消化(中温酸敗)			10日消化(正常時)		
	生汚泥	高温消化	中温消化	生汚泥	高温消化	中温消化	生汚泥	高温消化	中温消化
汚泥組成g/l									
T S	33.5	18.3	18.5	36.0	19.1	23.0	33.0	20.7	22.1
V S	24.5	9.3	9.6	26.0	10.1	14.1	24.5	12.2	13.5
蛋白質	6.7	3.8	4.8	6.9	4.2	4.7	8.4	5.6	6.4
炭水化物	11.4	2.0	1.9	12.9	2.2	5.1	11.1	2.4	2.4
その他	6.4	3.5	2.9	6.2	5.7	4.3	6.0	4.2	4.7
CO ₂ D _{cr}	46.5	15.9	16.1	49.1	16.5	23.8	38.3	19.7	21.8
T K N	1.38	1.42	1.40	1.40	1.36	1.41	1.73	1.66	1.66
NH ₃ -N	1.07	0.61	0.72	1.00	0.59	0.68	1.36	0.82	1.02
全PO ₄ ³⁻	1.02	1.06	1.06	0.92	0.88	0.92	1.47	1.35	1.34
遠沈脱離液mg/l									
CO ₂ D _{cr}	4900	1750	810	5870	2640	5080	4200	2330	1920
NH ₃ -N	320	810	670	420	770	730	355	850	650
PO ₄ ³⁻	300	140	210	390	150	360	440	220	320

汚泥中の有機物総

量の指標であるV Sの分解率は20日消化の場合、高温消化が62%、中温消化が61%で有意差は認められない。酸敗回復後の10日消化におけるV S分解率は、高温消化の50%に対し中温消化はやや低い47%であった。20日消化と10日消化のV S分解率の差異は、供試投入汚泥の組成が異なるので、評価の対象にならない。しかし、高温消化を対照として考えると、10日という消化日数は中温消化にとってやや不足の日数と推定される。

興味深いのは、個々の有機物成分の減少率である。炭水化物の減少率は、双方の消化の間で差がなく、ともに20日消化で82%、10日消化で78%と非常に高い値を示した。それとは対照的に蛋白質の減少率は高温消化と中温消化の間に顕著な差がみられた。すなわち、高温消化の蛋白質減少率は20日消化で43%、10日消化で33%であったのに対し、中温消化のそれはそれぞれ28%、24%に過ぎなかった。このような蛋白質減少率の差異は、脱離液中のNH₃-N濃度の差としても表われており、また、そのことが両消化液のpH、アルカリ度の相違の原因となっている。高温消化の方が蛋白質がより多く減少するという現象は、回分実験で消化温度の影響を研究したMály⁽⁸⁾も報告しており、ほぼ確実な現象と考えられる。しかしこのことは必ずしも高温消化の方が投入汚泥中の蛋白質をより多く分解しているとは言えない。嫌気性消化の過程で増殖する微生物体もその大部分が蛋白質で、それも消化汚泥の蛋白質として計量されるからである。Cooney⁽⁶⁾は、都市ゴミを投入基質として高温消化(65℃)と中温消化(37℃)の比較実験で、DNA量から計算した微生物体量は高温消化の方が1.5~2.0倍多いことを見出している。本実験でも、両消化液に含まれる微生物体量の差が蛋白質量の相違の要因になったとも考えられる。

表-1で他に目立つ両消化の相違点は脱り液のCO₂D_{cr}濃度である。とりわけ20日消化の場合は、高温消化が2倍近く高かった。肉眼的にみると、高温消化の脱離液はより強く着色(汚泥分離直後は黒緑色、次第に黄褐色化)していた。また、HPLCを使用してGPC解析(ゲル:TSK SW3000)を行ったところ、高温消化の脱り液には中温消化のそれにはみられないUV吸収性のピークが観察された(詳細は紙

面の都合で割愛する)。なお、この実験でも嶋田ら⁽¹⁾ 佐藤ら⁽²⁾が見出しているように、消化脱離液中のオルト PO_4^{3-} は投入汚泥のそれよりも低濃度であった。

3) 汚泥の沈降濃縮

1月12日(20日消化)に投入汚泥と消化汚泥を500 mlのシリンダで静置濃縮したところ、消化汚泥は2日ないし3日で界面を形成し、その界面高さは5日以後安定した。10日目にチューブポンプでシリンダ内の汚泥を層別に採取し、その濃度を測定した。その結果を図-4に示す。

投入汚泥の場合には界面以下の汚泥濃度はほぼ一様の“均等濃縮”を示したのに対し、消化汚泥は界面以下低部にゆくに従って濃度が高くなる“不均等濃縮”を示した。濃縮消化汚泥の層別のVS/TS比はほぼ一定値なので、このような濃縮パターンは汚泥粒子の比重差よりも粒子径のばらつきに起因すると思われる。勿論、汚泥粒子のばらつきは投入汚泥にも存在するはずであるが、この場合には汚泥粒子のもつ凝集性によって粒子相互が結合・構造化されているので均等濃縮を示すと思われる。消化を受けるとこのような凝集性が失われ、各粒子が比較的独立に挙動できるようになり稠密スラリーであるにもかかわらず自由沈降のごとく濃縮してゆくとされる。

中温消化で酸敗が進行していた3月14日の消化汚泥について同様の測定を行った結果を図-5に示す。高温消化汚泥の沈降濃縮性は20日消化の場合よりよかったが、濃縮パターンは同様に不均等濃縮であった。中温消化汚泥も20日消化よりよく沈降濃縮したが、明確な濃度勾配は形成されなかった。これは酸敗状態にあって消化が十分でなく、投入汚泥のもつ凝集性がまだ残留していたためと推測される。この種の測定は2回しか行っていないので断定できないが、この実験結果をみる限り、消化日数を増加させ消化程度を高めることは消化汚泥の沈降濃縮性にとって必ずしも有利とは思われない。

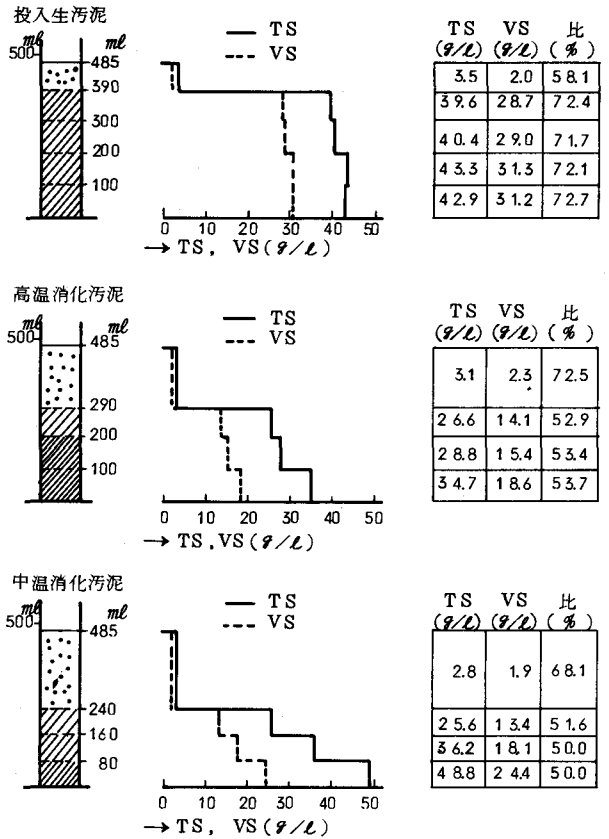


図-4 生汚泥, 20日消化汚泥の濃縮汚泥濃度

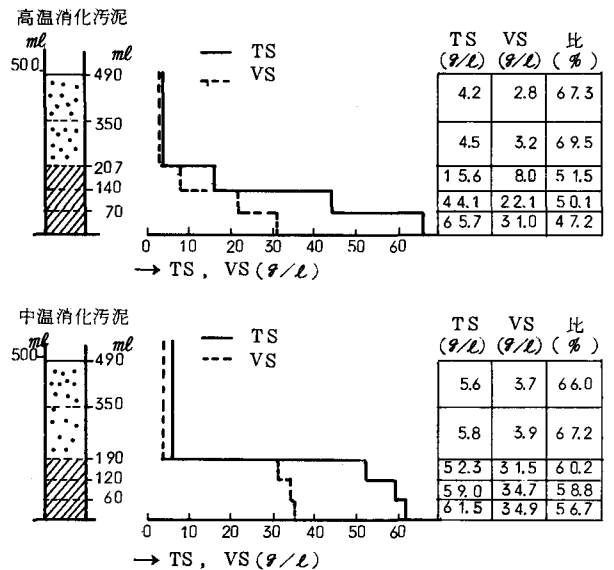


図-5 10日消化汚泥の濃縮汚泥濃度

表-2 V S分解率、ガス発生量、メタン含率データの比較

	本 報 告 の 実 験				Golueke ら(7)		Malina ら(9)				Mály ら(8)	
運 転 方 法 対 象 汚 泥 消 化 日 数	セ ミ 連 続 混 合 汚 泥 20日		セ ミ 連 続 混 合 汚 泥 10日		セ ミ 連 続 初 沈 汚 泥 30日		セ ミ 連 続 余 剩 汚 泥 12日		セ ミ 連 続 余 剩 汚 泥 6日		回 分 消 化 混 合 汚 泥 100日	
消 化 温 度	高 温 55℃	中 温 37℃	高 温 55℃	中 温 37℃	高 温 55℃	中 温 35℃	高 温 53℃	中 温 33℃	高 温 53℃	中 温 33℃	高 温 50℃	中 温 30℃
V S 分解率 %	62.0	60.8	50.2	44.9	49.9	52.8	49.9	47.1	44.1	40.7	50.3	49.4
ガス発生量 ml/g												
投入VS当たり	635	640	530	510	505	466	419	460	358	388	533	540
分解VS当たり	1020	1030	1050	1140	1012	883	839	975	813	955	1072	1097
メタン含率 %	61.5	61.5	62	62	67	68	67	65	64	63	72	71
	Popova ら(1)		Garber ら (3)		松 永 ら (4)				佐 藤 ら (4)		Pfeffer (5)	
運 転 方 法 対 象 汚 泥 消 化 日 数	実 施 設 混 合 汚 泥 9～13日		実 施 設 混 合 汚 泥 27日		セ ミ 連 続 混 合 汚 泥 20日		セ ミ 連 続 混 合 汚 泥 10日		セ ミ 連 続 混 合 汚 泥 30日		セ ミ 連 続 都 市 ゴ ミ 20日	
消 化 温 度	高 温 51℃	中 温 33℃	高 温 52℃	中 温 38℃	高 温 54℃	中 温 36℃	高 温 54℃	中 温 36℃	高 温	中 温 30℃	高 温 60℃	中 温 35℃
V S 分解率 %	41	41	65	68	42	35	22	32		62.4	51.8	32.7
ガス発生量 ml/g												
投入VS当たり	387	387	750	687	432	404	439	422		580	440	288
分解VS当たり	944	944	1150	1010	972	1154	1995	1320		929	820	825
メタン含率 %	63.5	63.5	65	63	72	73	70	66		62	55	53

4. まとめ

ガス発生量からみて消化状態が安定していた実験期間の物質収支から求めた V S 分解率、投入 V S 当り及び分解 V S 当りのガス発生量ならびにメタン含率の平均値を表-2に示す。なお比較のために従前の研究で報告されているこの種のデータも併記してある。本実験の場合、10日消化では V S 分解率、ガス発生量とも中温消化がやや低かった。しかし、20日消化では両者間にほとんど差がなく、本実験の設題に対する結論として、終局的な有機物分解率、ガス発生量は消化温度に影響されまいと言えよう。

本実験では脱水性テストを行わなかったが、沈降濃縮試験の結果を参考にとすると高温消化は脱水性の面からもそれほど期待できそうにない。従って、熱経済的に不利な高温消化の適用性は、用地事情に制限のある場合を除いて、おのずと制限されよう。

<参考文献>

- (1) Popova, N. M., Bolotina, O. T., Int. J. Air, Wat. Poll., Vol 7, P 145 (1963)
- (2) Fischer, A. J., Greene, R. A., Sewage Works J., Vol 17, P 718 (1945)
- (3) Garber, W. F., Ohara, G. T., Colbaugh, J. E., J. W. P. C. F., Vol 47, P 950 (1975)
- (4) Heukelkian, H., Sewage Works J., Vol 2, P 219 (1930)
- (5) Pfeffer, J. T., Biotech. Bioeng. Vol 16, P 771 (1974)
- (6) Cooney, C. L., Wise, D. L., Biotech. Bioeng., Vol 17, P 1110 (1975)
- (7) Golueke, C. G., S. I. W. Vol 130, P 1202 (1958)
- (8) Maly, J., Fadrus, H., J. W. P. C. F., Vol 43, P 641 (1971)
- (9) Malina, J. F., 16th Proc. Purdue Univ. Conf., P 232 (1962)
- (10) 高尾、松本、野池、第34回土木学会年次学術講演概要集Ⅱ P 435 (1979)
- (11) 嶋田、第16回下水道研究発表会講演集 P 694 (1979)
- (12) 佐藤、坂元、第34回土木学会年次学術講演概要集Ⅱ P 437 (1979)
- (13) 松永、古屋、林、第15回下水道研究発表会講演集 P 582 (1978)
- (14) 佐藤、坂元、第15回下水道研究発表会講演集 P 579 (1978)