

3. 1. 4 実験方法

実験は【PAC+高分子実験】と【鉄系凝集剤+高分子実験】に大別されるが、それぞれで高分子凝集剤注入点、攪拌強度の検討を行った。注入点および攪拌強度の実験はPACおよび鉄系で無機凝集剤の種類が変わるだけで同様の実験とした。それぞれの実験ではプラント実験とジャーテスト実験にて行った。従って、実験方法は高分子凝集剤注入点の検討、攪拌強度の検討、ジャーテスト方法について記す。

なお、高分子凝集剤の注入率はACT2 1の結果から0.1mg/lで固定した。鉄系凝集剤は塩化第二鉄を用い、PACおよび塩化第二鉄注入率はアルミニウム (as Al) および鉄 (as Fe) として表記した。

(1) 高分子凝集剤注入点の検討

高分子凝集剤注入点の検討は、プラント実験において図3.1.4-1のように行った。それぞれの方式の特徴は次のとおりであり、高分子凝集剤の注入方法により区別した。

- ・通常処理 無機凝集剤だけを用いる一般的な方式で、高分子を用いた比較系とした。
- ・注入点A方式 急速攪拌にて無機凝集剤と高分子凝集剤を同時に用いた方式。(同時注入)
- ・注入点B方式 急速攪拌を2段で用い、1段目の急速攪拌に無機凝集剤、2段目に高分子凝集剤を注入する方式。(2段注入)
- ・注入点C方式 無機凝集剤は従来通りで行い、緩速攪拌に高分子凝集剤を注入する方式。(緩速注入)

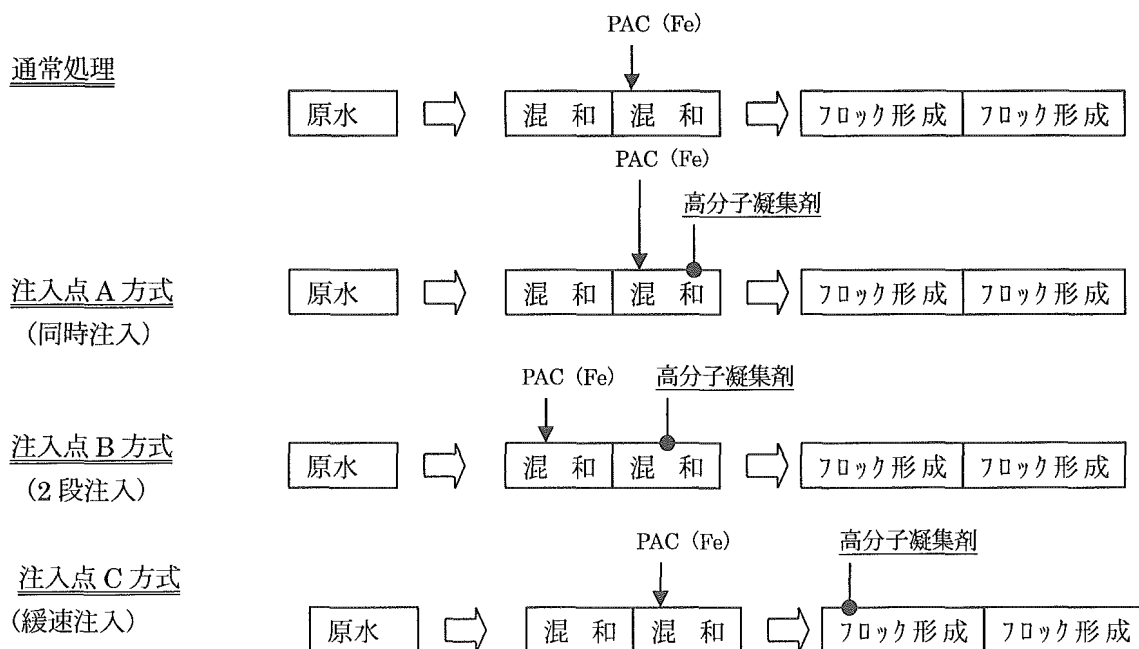


図 3.1.4- 1 高分子注入点の検討方法

(2) 攪拌強度の検討

攪拌強度の検討はプラント実験において次のように行った。通常処理は混和槽 2 段のうち 1 段だけを用い、一般的な急速攪拌の G 値 250sec^{-1} を標準とした。高分子を併用した場合の注入点 A~C 方式では、急速攪拌の標準 G 値 250sec^{-1} とより高い G 値の効果を見るため G 値 550sec^{-1} の比較を行った。

なお、注入点 B 方式では、混和槽 2 段を用いたため攪拌 G 値の組み合わせを変え ($250+250$, $550+550$, $250+550$, $550+250$) の 4 種類で検討を行った。このうち前後段の G 値が同じ場合を同 G 値、異なる場合を偏 G 値と称した。

フロック形成槽の G 値は固定した。

表 3.1.4-1 攪拌強度の検討条件

	通常処理	注入点 A 方式	注入点 B 方式	注入点 C 方式
混和槽 1 段目	***	***	G=250 G=550	***
混和槽 2 段目	G=250	G=250 G=550	G=250 G=550	G=250 G=550
フロック形成槽 1 段目	G=35			
フロック形成槽 2 段目	G=8.5			

* G 値単位： sec^{-1}

(3) ジャーテスト方法

ジャーテストにおける高分子注入点と攪拌強度の検討は、図 3.1.4-2 に示した方法で行った。ジャーテストではプラント実験との比較を行うため、高分子注入方法は図 3.1.4-1 のプラント実験と合わせる方式とし、また攪拌強度もプラント実験とあわせるため攪拌強度は G 値により設定したが、ジャーテスターの最大回転数が G 値 410sec^{-1} に相当したためこれを最大 G 値とし G 値 250 , 410sec^{-1} の比較を行った。なおこのジャーテストでは試験水の共回りを防ぐため試験ビーカーに 1 L の角ビーカーを用いた。

ジャーテストによる評価は濁度と微粒子数により行った。

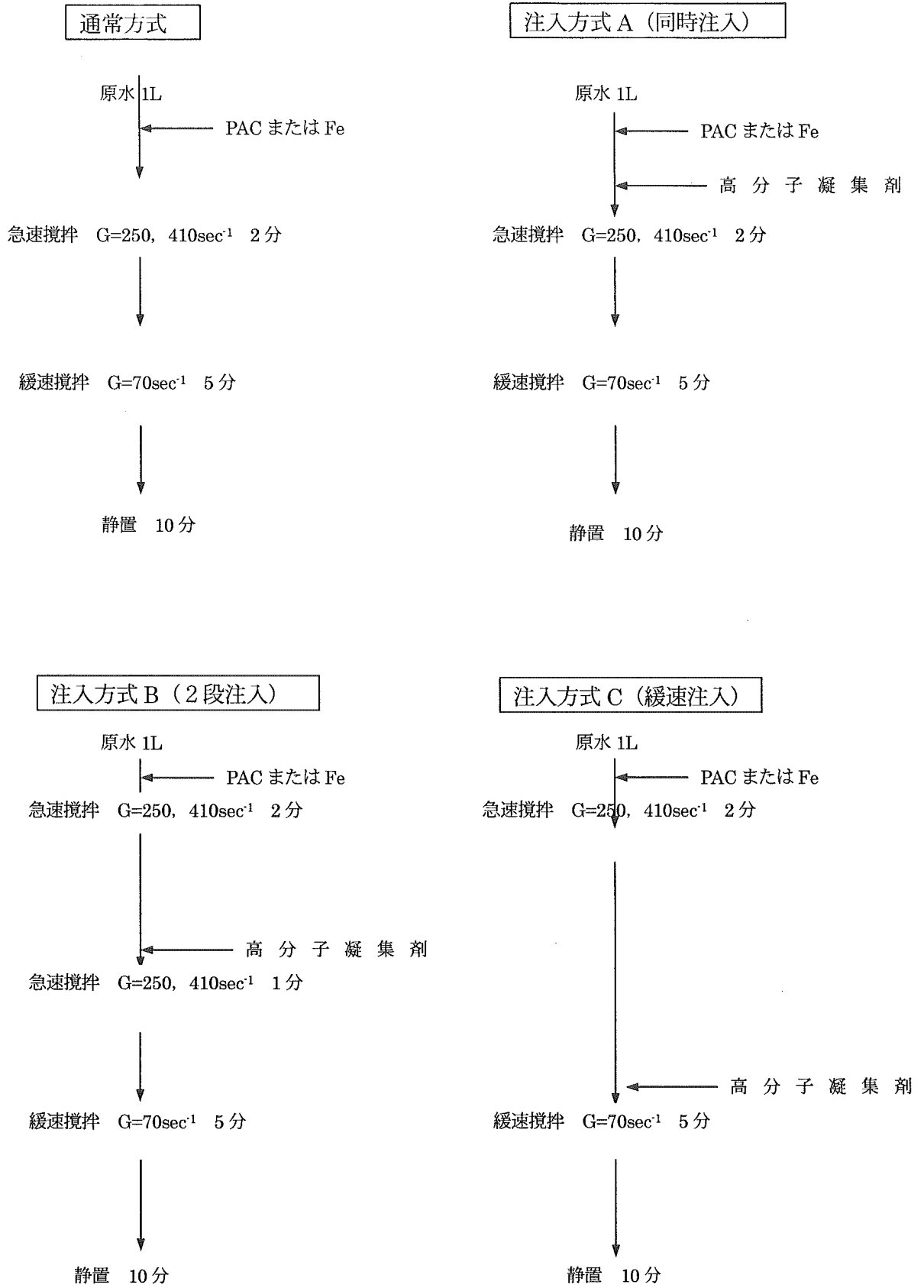


図 3.1.4-2 ジャーテスト方法

(4) G 値の計算方法

- ・ジャーテストの場合 攪拌翼の回転速度と抵抗係数を基に計算。

$$G = \sqrt{\frac{\rho \times C \times \sum_i (a_i \cdot v_i^3)}{2\mu \cdot V}}$$

- G : 速度勾配 sec⁻¹
- ρ : 水の密度
- C : 攪拌翼の抵抗係数 (=1.5)
- a_i : 攪拌翼の面積 (m²)
- v_i : 攪拌翼の周速 (m/sec)
- μ : 水の粘性係数
- V : 槽の容積 (m³)

- ・実験プラントの場合 駆動装置の軸動力を基に計算。

$$G = \sqrt{\frac{P\eta}{\mu V}}, \quad P = \frac{Np \times \rho \times n^3 \times d^5}{g}$$

- G : 速度勾配
- P : 攪拌動力 (kg·m²/s³)
- η : 減速機の効率
- μ : 水の粘性係数
- V : 槽の容量 (m³)
- Np : 攪拌動力数
- n : 回転数
- d : 翼径 (m)

(5) フロック沈降速度の測定方法

プラント実験においては高分子凝集剤の注入点や攪拌強度を変えたことによる評価のひとつとして、2段目フロック形成槽において凝集フロックの沈降速度を測定した。フロックの採取方法は図 3.1.4-3 に示した採取器具を用いフロックを破壊させずに採取し、そのまま静置し一定位置で濁度の経時変化を測定し、フロック沈降速度を算出した。

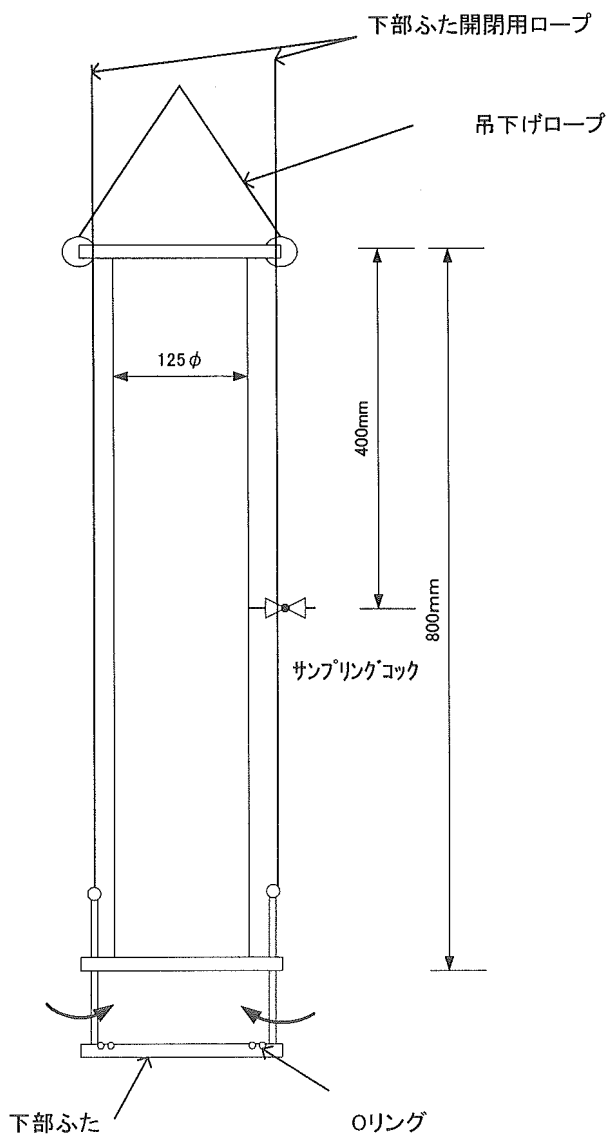


図 3.1.4-3 フロック採取器

フロックの採取は、採取器の上下が開放状態で槽内に挿入し、試水が安定した状態で上部より下部ふたを引き上げ採取する方法で行った。

沈降速度の算出は、濁度の経時変化を実測した結果から、ある範囲の沈降速度を持つ粒子群がどの程度あるのかを沈降速度分布で表現する方法で行った。

フロックの沈降速度は、採取器を用いて測定した濁度の経時変化からの結果から、次

のように算出した。

- ① 採取器のサンプリング位置は水面から既知 (Hcm) であるため、採取時間 (沈降時間) を変えると、その時間の沈降速度 (Hcm/Tmin) がわかる。
- ② そこで静置開始時の濁度 (C0) として、T1min 後の濁度 (C1)、T2min 後の濁度 (C2) であれば、沈降速度範囲 H/T1~H/T2 を持つフロックの沈降分布は (C1 - C2) / C0 × 100% で表される。
- ③ このように測定時間毎で算出すれば、各沈降速度の分布を区分化してフロックの沈降割合を表現する。これにより、各沈降速度範囲のフロックの沈降分布を比べることで、凝集条件による違いを比較する。

(6) 分析項目

表 3.1.4-2 ジャーテスト水質分析項目

	現場分析	外部分析委託	頻度
pH	○		毎日
濁度	○		毎日
色度	○		毎日
E260	○		毎日
微粒子数	○		毎日

表 3.1.4-3 プラント実験水質分析項目

	現場分析	外部分析委託	頻度
pH	○		毎日
濁度	○		毎日
色度	○		毎日
E260	○		毎日
微粒子数	○		毎日
アルカリ度		○	通常方式との比較実験時
過マンガン酸カリウム消費量		○	通常方式との比較実験時
TOC		○	通常方式との比較実験時
鉄		○	通常方式との比較実験時
アルミニウム		○	通常方式との比較実験時
アクリアミドモノマー		○	通常方式との比較実験時

(7) 実験日程

実験は次の日程で行った。

表 3.1.4-3 実験日程

期間	実験種別	実験内容	ジャーテスト 実験	プラント 実験	取水場の粉炭 注入状況
H15. 8/11-8/13	PAC+高分子実 験	注入方式 A の検討 (同時注入方式)	○	○	8/14 (7)
H15. 8/14-8/18		注入方式 B の検討 (2 段注入同 G 値)	○	○	
H15. 8/19-8/20		注入方式 B の検討 (2 段注入偏 G 値)	○	○	
H15. 8/22-8/27		注入方式 C の検討 (緩速注入方式)	○	○	8/25 (7) 8/27 (6)
H15. 8/28-9/9		通常方式と最適条件の比較	○	○	
H15. 9/9-9/11	鉄系+高分子 実験	注入方式 A の検討 (同時注入方式)	○	○	
H15. 9/12-9/18		注入方式 B の検討 (2 段注入同 G 値)	○	○	9/15~16(7) 9/18 (5~7)
H15. 9/19-9/22		注入方式 B の検討 (2 段注入偏 G 値)	○	○	9/19 (5~7)
H15. 9/23-9/28		注入方式 C の検討 (緩速注入方式)		○	
H15. 9/28-10/9		通常方式と最適条件の比較	○	○	

* この実験期間中、綾瀬取水場にて、粉末活性炭の注入があった時期は表中に記載したとおりであり、() 内はその時の粉末活性炭注入率を示す。

3. 1. 5 実験結果

(1) PAC+高分子凝集剤実験

1) ジャーテスト実験

ジャーテストを用いて高分子凝集剤の注入方式A～Cの攪拌G値の検討を行った結果を図 3.1.5(1)－1～4に示す。図 3.1.5(1)－1 は高分子凝集剤と無機凝集剤を同時に使用した方法、図 3.1.5(1)－2 は高分子凝集剤を2段で用い前後段のG値を同じにした方法、図 3.1.5(1)－3 は同じ2段注入でも前後段のG値のバランスを変えて偏G値で用いた方法、図 3.1.5(1)－4 は高分子を緩速攪拌で注入した方法であり、各々通常方式との比較を行った。それぞれの注入方法についてまとめた。

①注入方式A（高分子同時注入）

高分子同時注入方式の場合、低PAC注入域ではG値 250sec^{-1} と 410sec^{-1} では濁度で約 26～38%高G値の方が低くなりG値を上げる効果が大きい。PAC注入率が高くなるとあまりG値の違いは見られなくなる。一方、通常方式では低～中PAC注入率域において高G値の効果が大きく、特に低PAC注入率ではG値 250sec^{-1} と 410sec^{-1} ではG値 410sec^{-1} の方が濁度で約 63%低い傾向にある。しかし高分子同時注入と通常方式を比較すると、高分子を用いるよりも単にG値を上げることで同等の結果が得られていることから、この高分子の使い方では効果はないものと考えられる。

②注入方式B（高分子2段注入）

高分子2段注入では同G値と偏G値の検討を行った。図 3.1.5(1)－2 に示した同G値の結果では前後段のG値の違いは濁度では大きくは見られないが、微粒子で見るとその差は明確であり、前後段とも高G値の方が良好である。通常方式との比較でも通常方式でG値を上げて濁度の低減は約 36%程度であるが高分子2段注入同G値方式では約 76～78%の低減効果がある。図 3.1.5(1)－3 に示した偏G値では、後段のG値が前段よりも高いと処理性が悪くなる傾向が見られ、G値 410sec^{-1} の通常方式とほぼ同程度の処理性となる。高分子2段注入方式では、高分子同時注入と違い通常処理と比べると高分子の効果が得られやすいが、攪拌G値は前後段で高い同G値で用いるか、前段よりも後段のG値を低くすることが必要となる。

③注入方式C（高分子緩速注入）

緩速注入結果を図 3.1.5(1)－4 に示す。高分子凝集剤を緩速攪拌に注入する方法では、緩速攪拌のG値は変えていないため緩速攪拌のG値で高分子の効果が得られるかを検討したものである。結果を見ると急攪でのG値が高くても緩速のG値程度では高分子の効果が得られず、通常方式とほとんど差は認められない傾向であった。

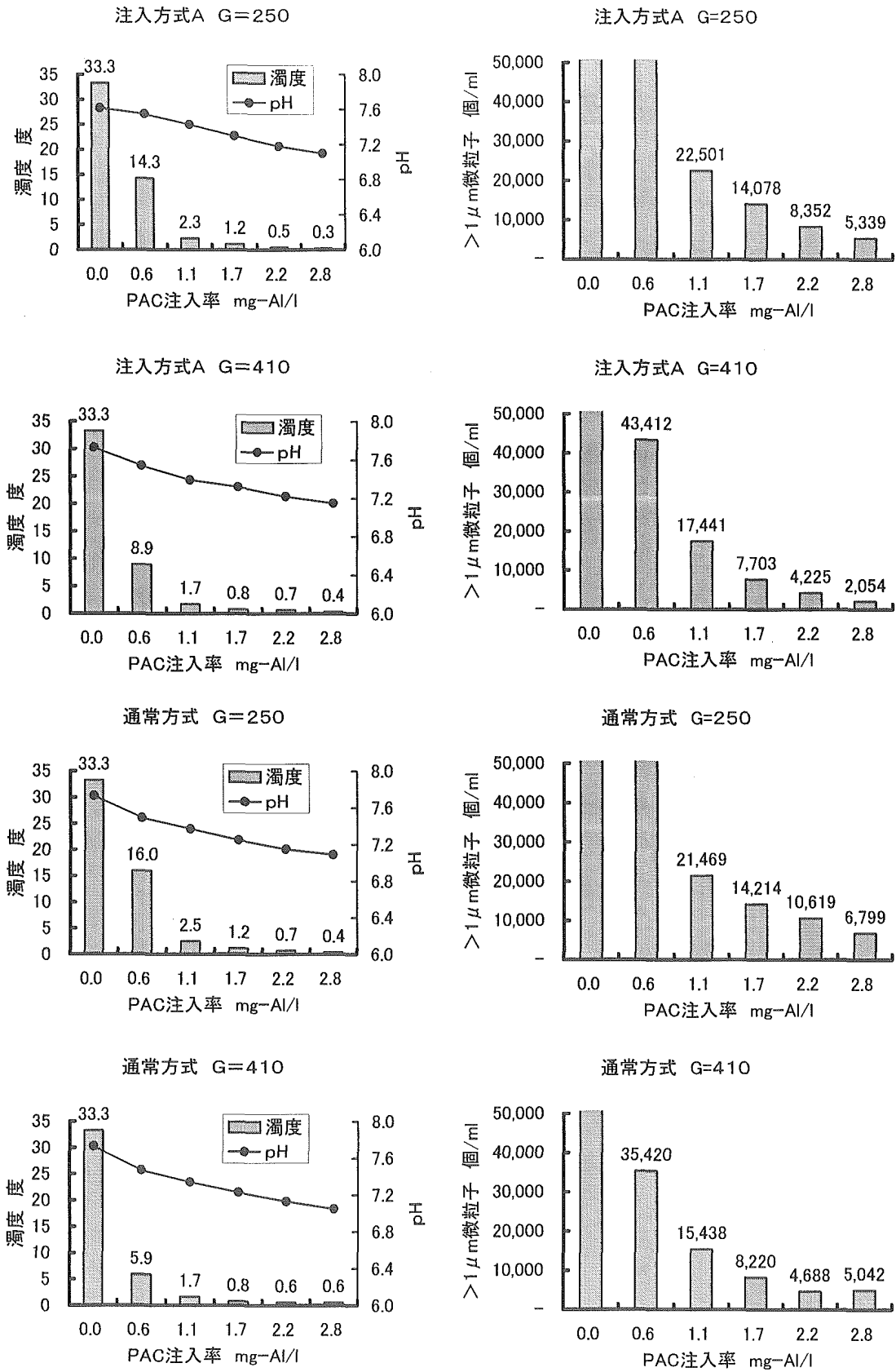


図 3.1.5(1)-1 ジャーテストによる注入方式 A と通常方式の比較 (H15.8/13)

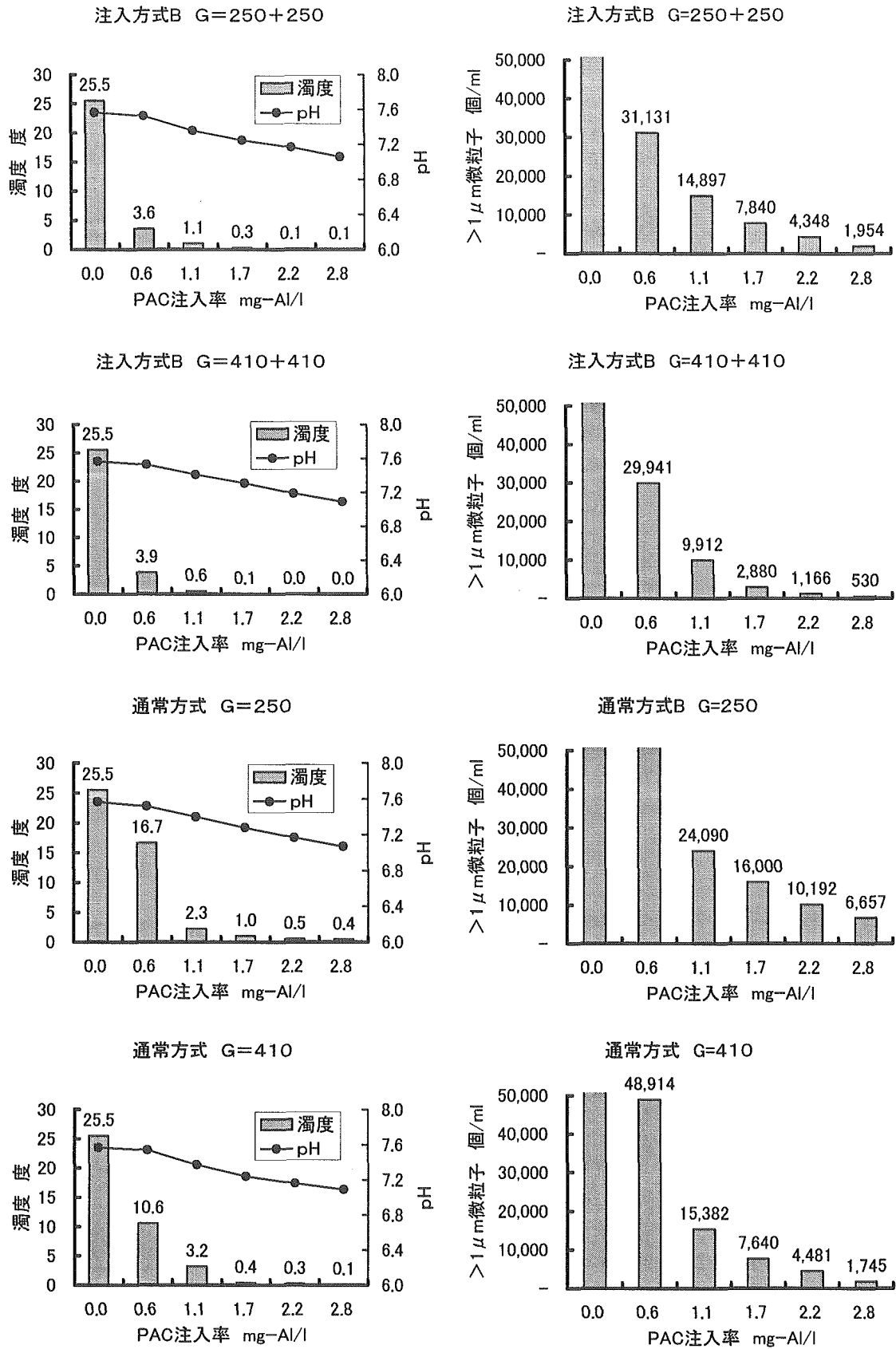


図 3.1.5(1)ー2 ジャーテストによる注入方式 B (同 G 値) と通常方式の比較 (H15.8/14)

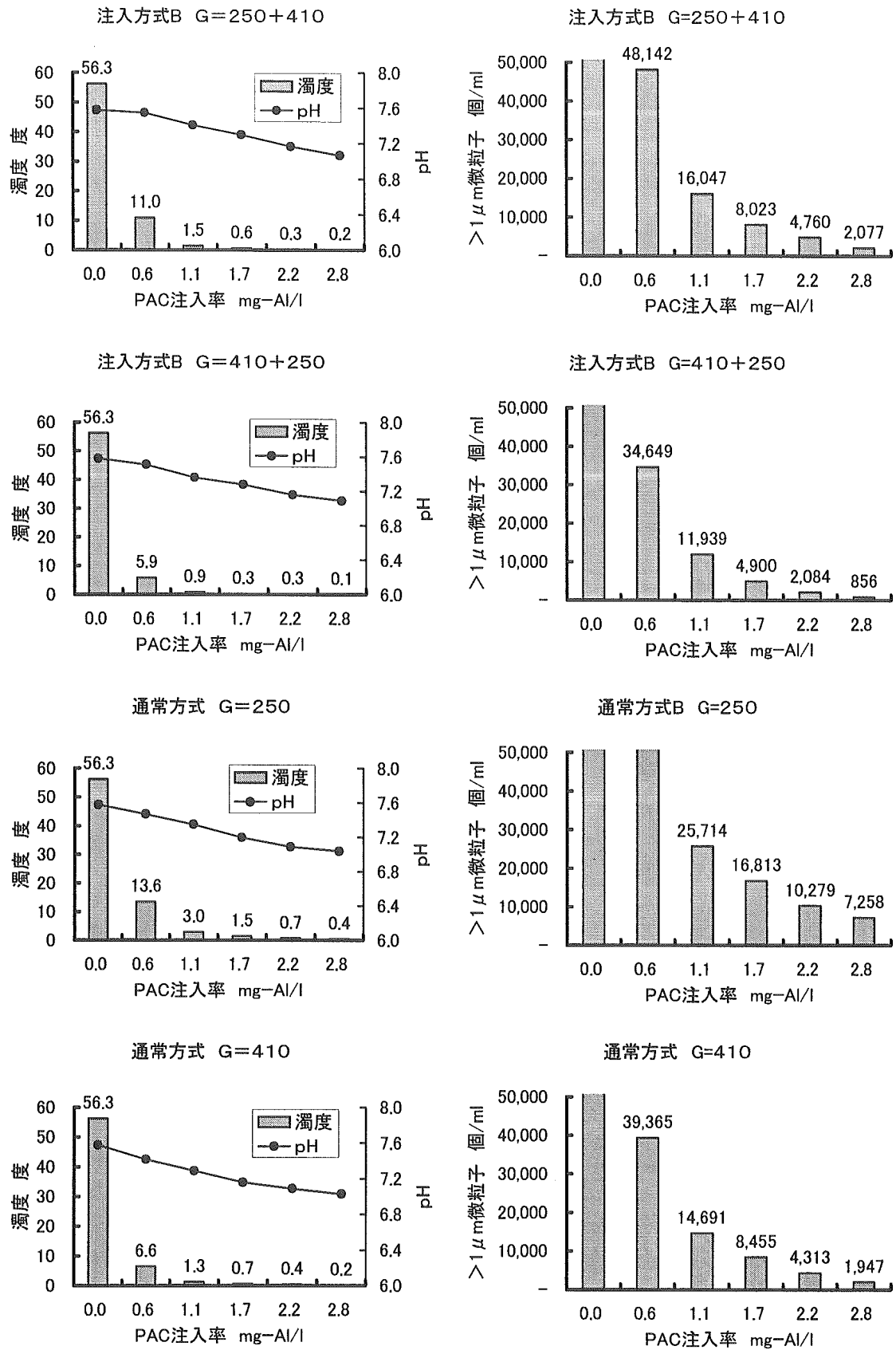


図 3.1.5(1)-3 ジャーテストによる注入方式 B (偏 G 値) と通常方式の比較 (H15.8/18)

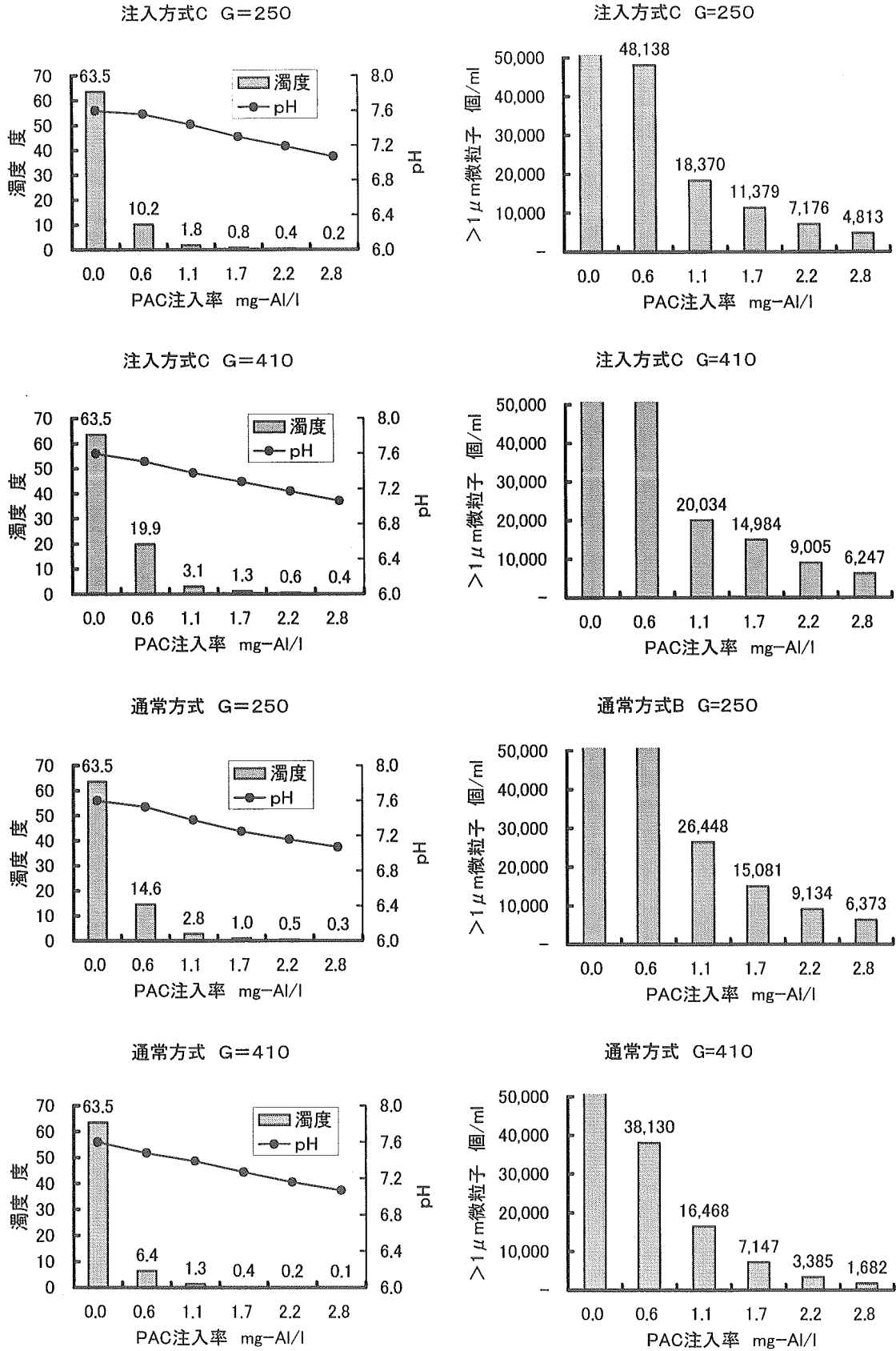


図 3.1.5(1)-4 ジャーテストによる注入方式 C と通常方式の比較 (H15.8/21)

以上の図 3.1.5(1) - 1 ~ 4 の結果を微粒子除去率でまとめた結果を図 3.1.5(1) - 5 に示した。

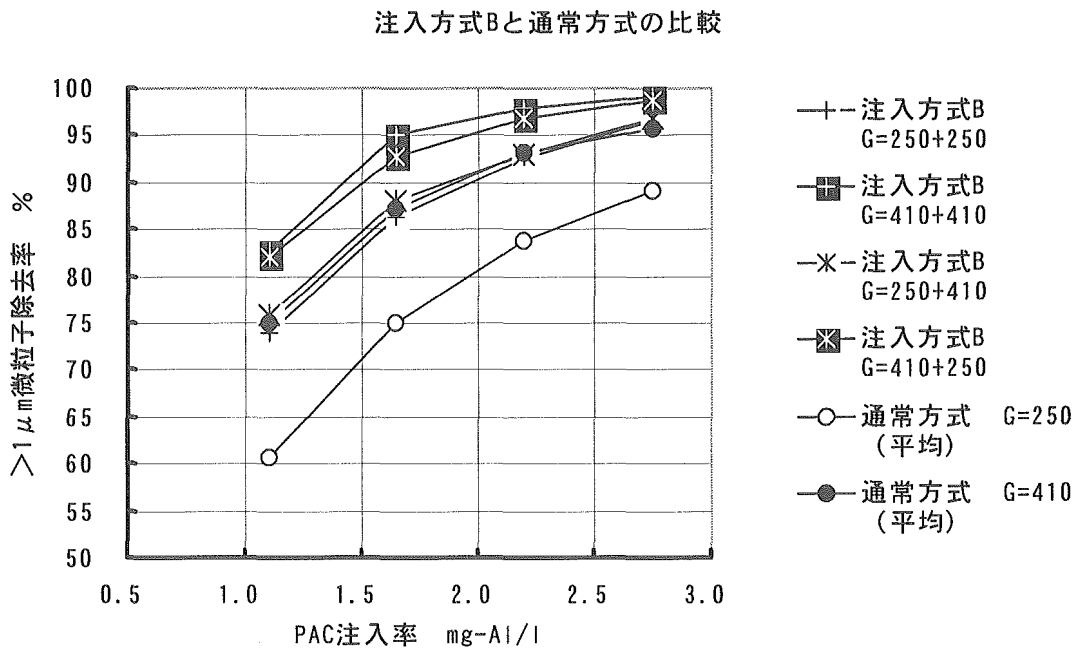
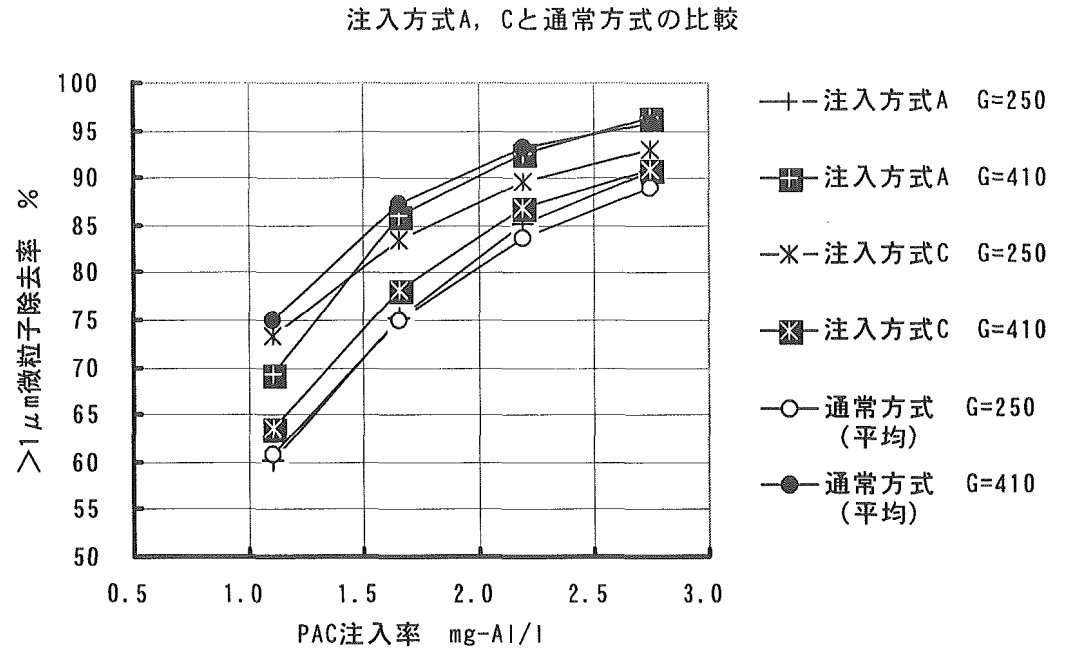


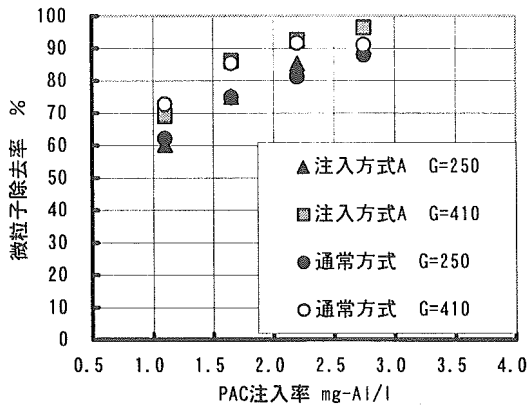
図 3.1.5(1) - 5 ジャーテストによる 1 μm 以上の微粒子除去率比較

図 3.1.5(1)－5 からわかるように、ジャーテストの結果からは高分子 2 段注入の同 G 値 ($410+410\text{sec}^{-1}$) または偏 G 値 ($410+250\text{sec}^{-1}$) が最も良好な結果であった。このことから、高分子凝集剤を用いる場合、無機凝集剤により高 G 値で強固なマイクロフロックを生成させ、その後前段の G 値と同等かそれ以下の G 値を与えて高分子凝集剤を注入することが効果的であると言える。2 段注入でも前段よりも高 G 値を与えた場合 ($250+410\text{sec}^{-1}$) はフロックの破壊を生じさせるため処理効果が低下していることが考えられる。

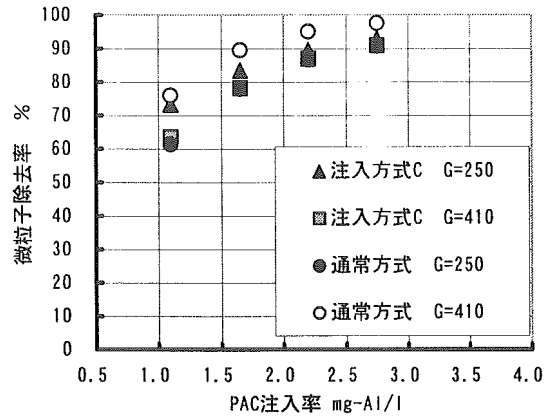
また、微粒子の粒径別挙動をみるため図 3.1.5(1)－6～7 に微粒子の粒径別 ($>1\mu\text{m}$, $1\sim 3\mu\text{m}$, $3\sim 7\mu\text{m}$) 除去率を、図 3.1.5(1)－8～9 に粒径別微粒子と濁度の関係を示す。粒径別の除去率では、 $3\sim 7\mu\text{m}$ 微粒子が何れの注入方法でも PAC 注入率の増加により攪拌強度による違いは見られなくものの、 $1\sim 3\mu\text{m}$ 粒子では特に 2 段注入方式において高 G 値と PAC 注入率の増加により微粒子が除去されていることがわかる。このことは $1\sim 3\mu\text{m}$ 微粒子を除去するためには PAC 注入率だけでなく高 G 値と高分子凝集剤が必要であることがわかる。

微粒子と濁度の関係では、どのような操作を行ってもほぼ同等の関係であり、濁度 1 度において $1\sim 3\mu\text{m}$ 微粒子は $8,000\sim 12,000$ 個/ml 程度、 $3\sim 7\mu\text{m}$ 微粒子は $2,000\sim 3,000$ 個/ml 程度であった。

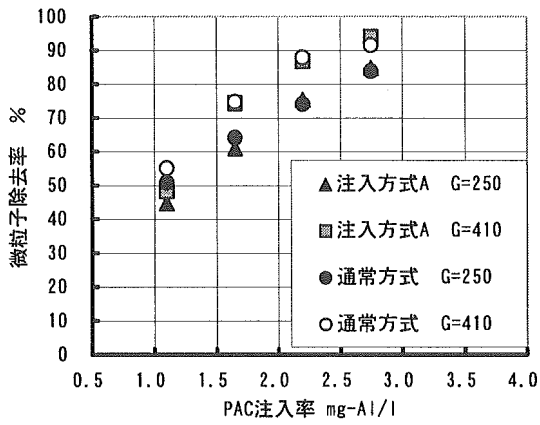
注入方式 A (>1.0 μm 粒子)



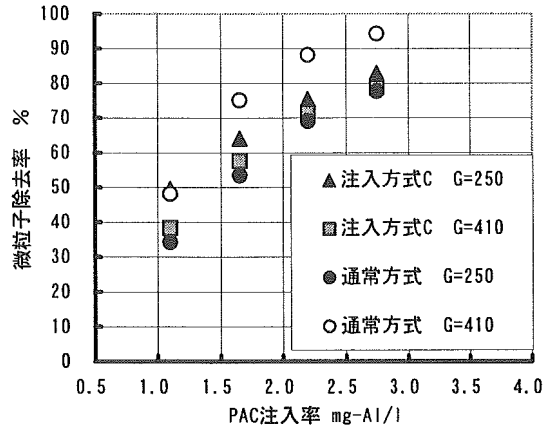
注入方式 C (>1.0 μm 粒子)



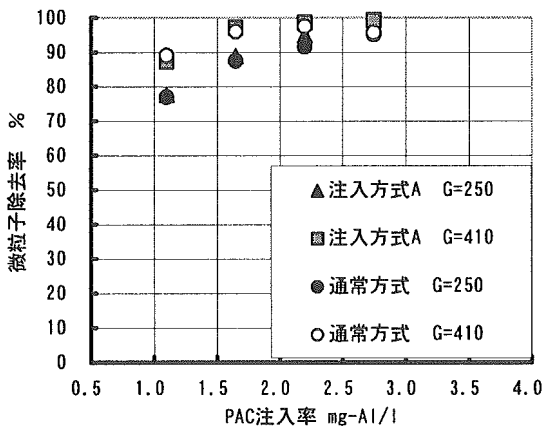
注入方式 A (1.0~3.0 μm 粒子)



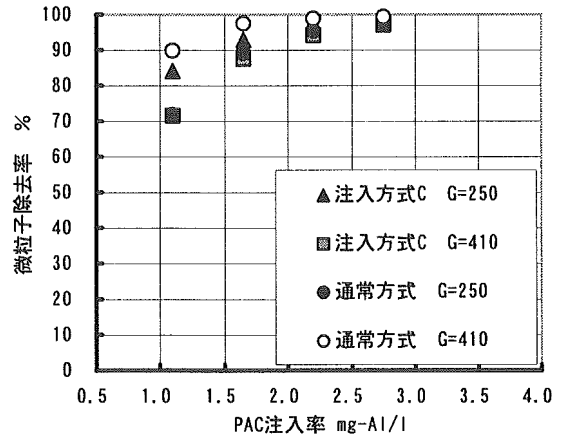
注入方式 C (1.0~3.0 μm 粒子)



注入方式 A (3.0~7.0 μm 粒子)



注入方式 C (3.0~7.0 μm 粒子)

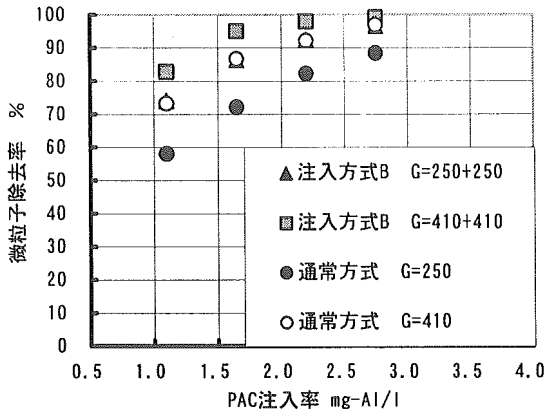


高分子同時注入

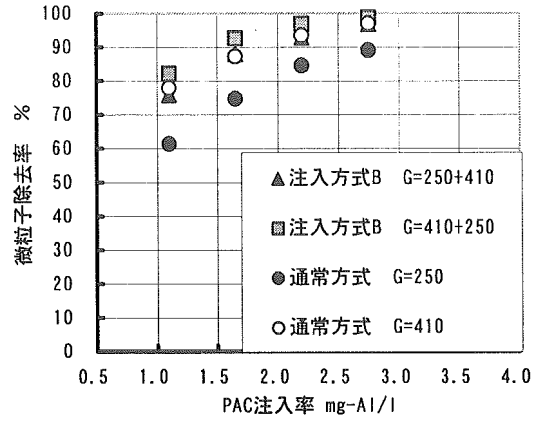
高分子緩速注入

図 3.1.5(1)-6 ジャーテストによる粒径別微粒子除去率 (注入方式 A, C)

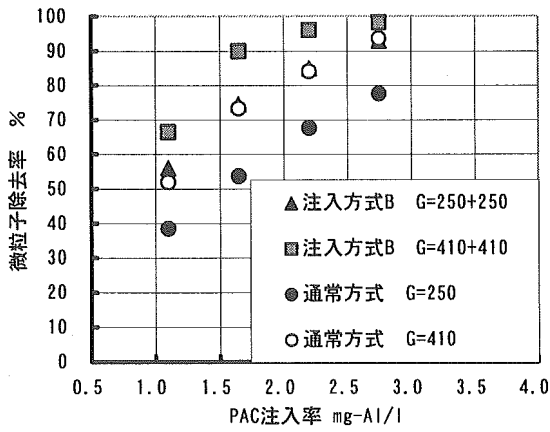
注入方式B同G値 (>1.0 μ m粒子)



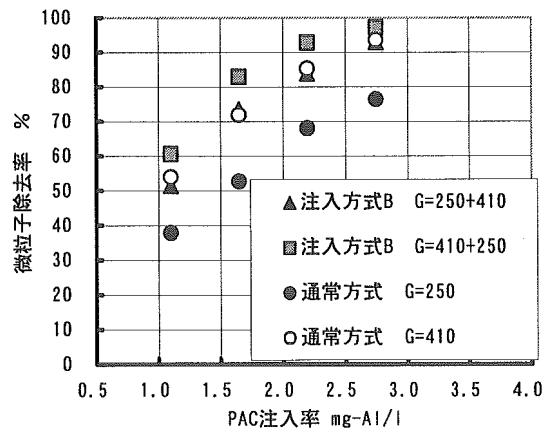
注入方式B偏G値 (>1.0 μ m粒子)



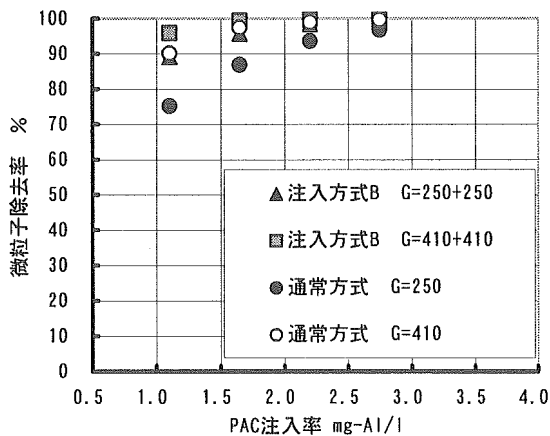
注入方式B同G値 (1.0~3.0 μ m粒子)



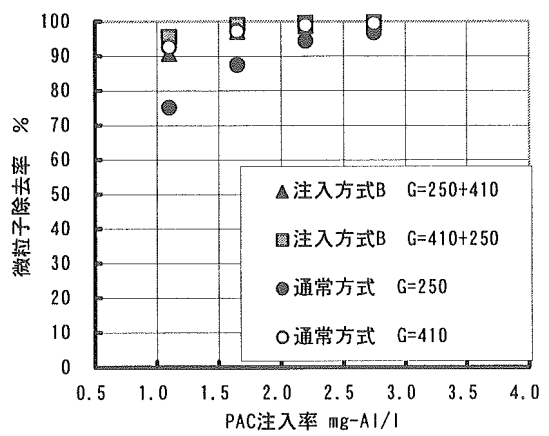
注入方式B偏G値 (1.0~3.0 μ m粒子)



注入方式B同G値 (3.0~7.0 μ m粒子)



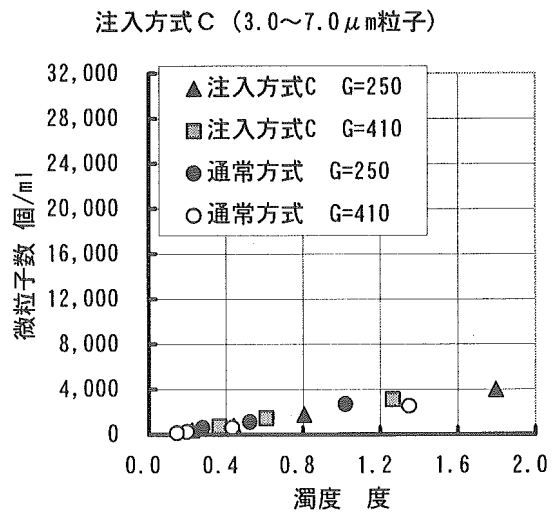
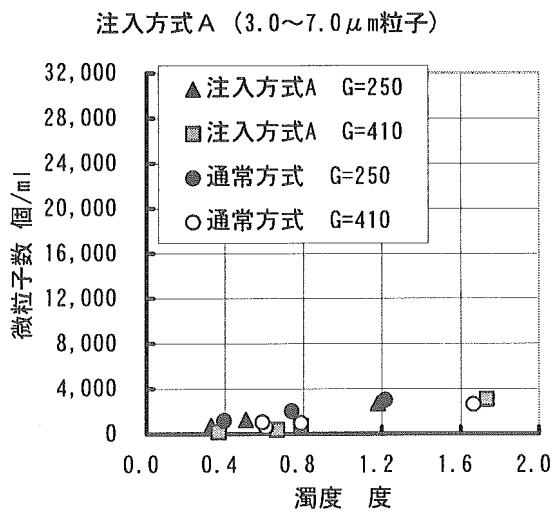
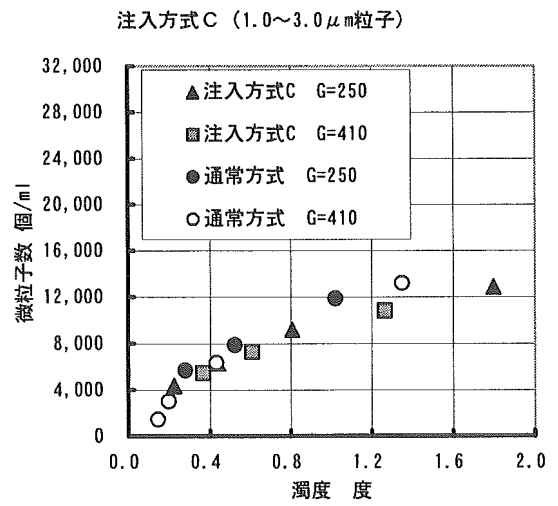
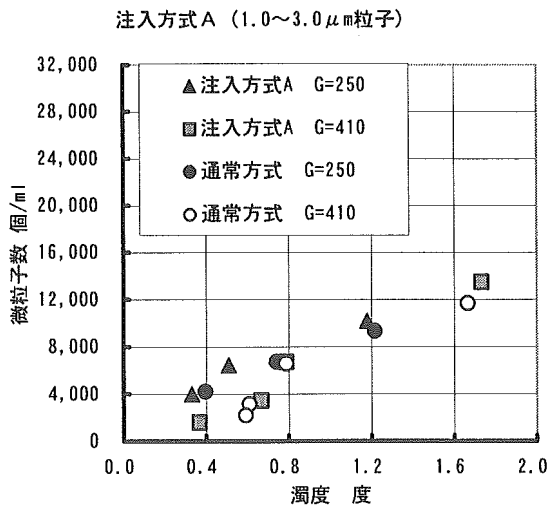
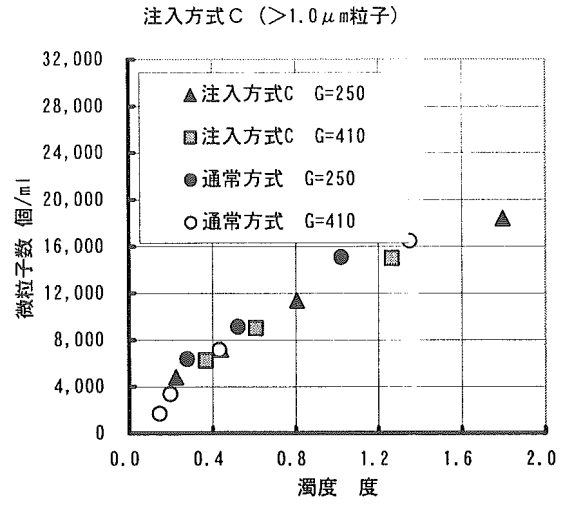
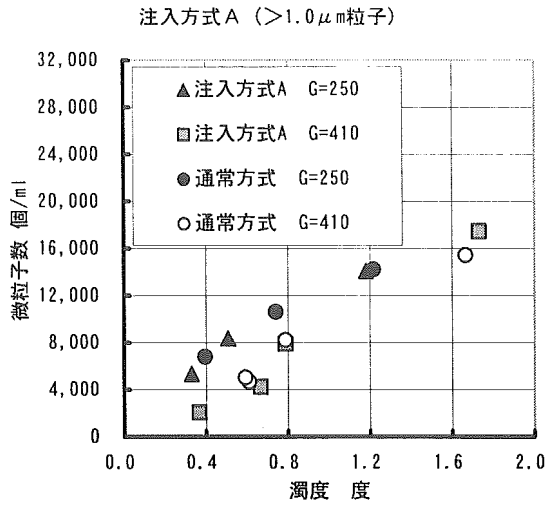
注入方式B偏G値 (3.0~7.0 μ m粒子)



2段注入同G値

2段注入偏G値

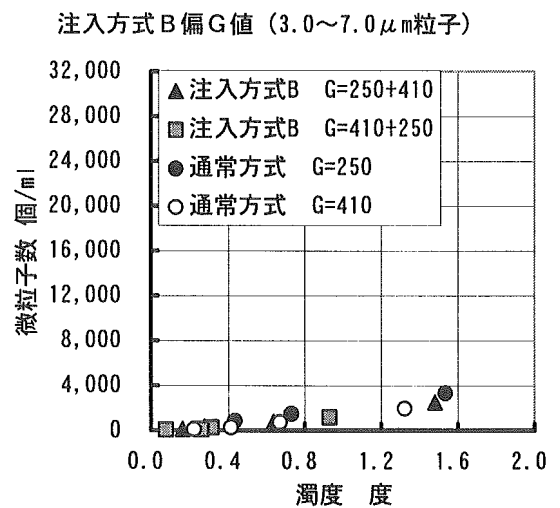
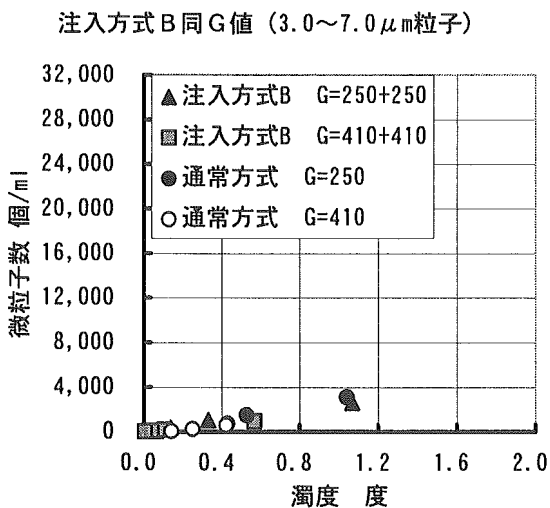
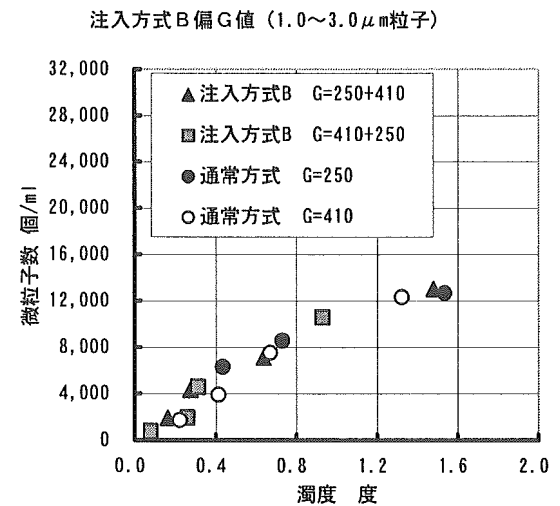
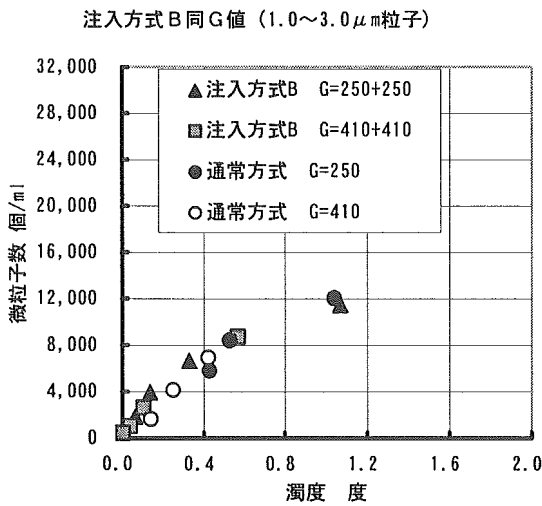
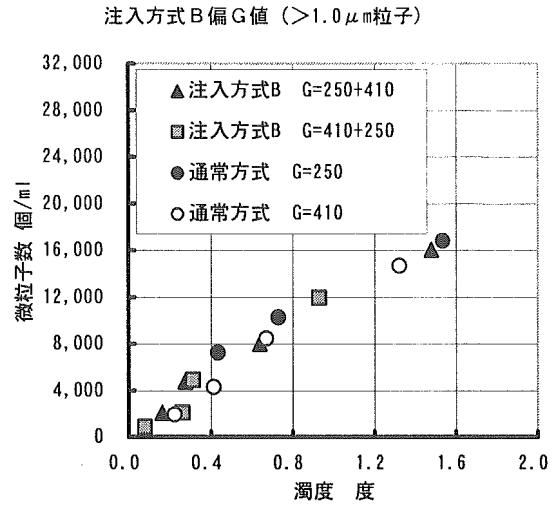
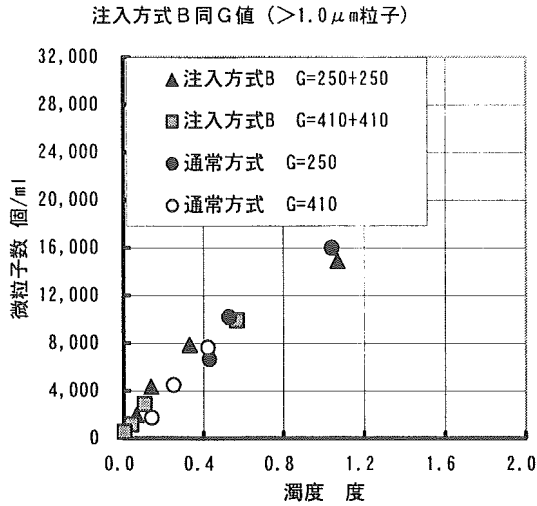
図 3.1.5(1)-7 ジャーテストによる粒径別微粒子除去率 (注入方式B)



高分子同時注入

高分子緩速注入

図 3.1.5(1)-8 ジャーテストによる微粒子と濁度の関係 (注入方式A, C)



2段注入同G値

2段注入偏G値

図 3.1.5(1)-9 ジャーテストによる微粒子と濁度の関係 (注入方式B)

ジャーテストの結果から、各注入方式条件（A～C）において必要な PAC 注入率の比較を比較して図 3.1.5(1)-10 に示した。必要 PAC 注入率は図 3.1.5(1)1～4 の結果から、上澄水濁度が 0.5 度となる PAC 注入率を求め、これにより比較を行った。

この結果、通常方式でも高い G 値にすることで、PAC は削減させることが可能であることがわかる。しかし、最も PAC の削減効果が高いのは注入方式 B のうち 1, 2 段とも高 G 値で行う方式であった。通常方式 G=250 に対して通常方式 G=410 では約 22～32%程度、注入方式 B（G=410+410）では約 50～56%の削減となった。

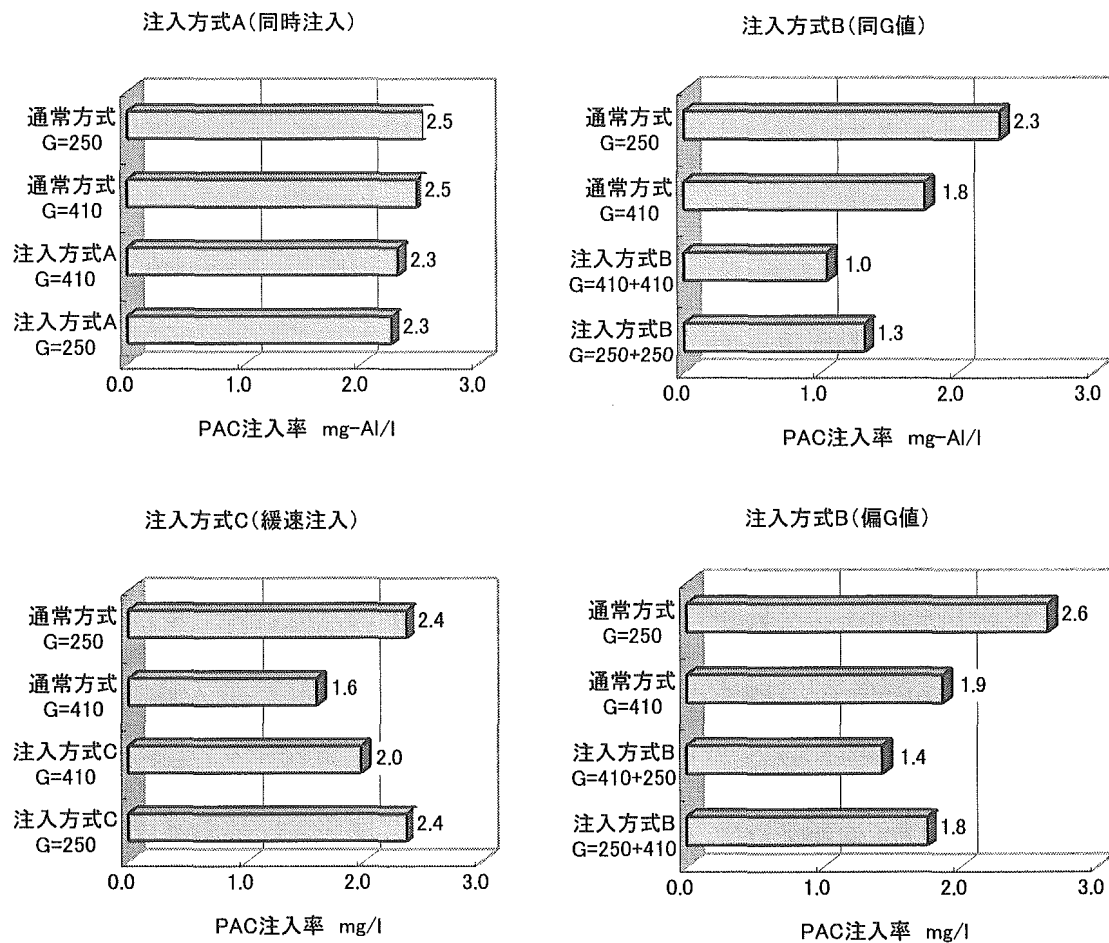


図 3.1.5(1)-10 ジャーテストによる必要 PAC 注入率の比較

2) プラント実験

ジャーテスト実験と並行して実施したプラント実験結果を示す。プラント実験ではジャーテストと同様に高分子注入点と攪拌強度を行った。

表 3.1.5(1)-1 PAC+高分子プラント実験工程

期間	実験内容	高分子 注入方式	1系 G 値 sec^{-1}	2系 G 値 sec^{-1}	PAC, 注入率	原水
8/11-8/13	【PAC+高分子】 注入点とG値の検討	A	250	550	2.2mgAl/l	高濁
8/14-8/18		B	250+250	550+550	2.2mgAl/l	高濁
8/19-8/20		B	250+550	550+250	2.2mgAl/l	高濁
8/22-8/27		C	250	550	2.2mgAl/l	高濁
8/28-9/9	【PAC+高分子】 通常処理との比較	1系：通常 2系：B	250	550+550	2.2→1.7mgAl/l	低濁

①プラント実験による注入点と攪拌 G 値の検討

図 3.1.5(1)-10~13 にプラント実験の連続計測データを用いた経時変化を示す。実験は 8/11~8/27 まではそれぞれの実験期間中プラント 2 系列を用いて注入点を合わせて G 値の比較を行い、その後、高分子の最適条件と通常方式の比較検討を行った。ここでは、注入点と G 値の組合せにおいて最適条件を検討した。
なお実験期間中は、降雨による影響を受け高濁原水の流入が続いた。
連続データとして pH, 濁度, 砂ろ過損失水頭を示したが、図からもわかるように全ての実験において攪拌 G 値の違いを見出すことは困難であった。そのため、経時変化の図では現れない沈澱処理水と砂ろ過水の微粒子挙動を表 3.1.5(1)-2, 3 に示す。沈澱処理水は除去率で、砂ろ過処理水は微粒子個数で表した。

この結果、沈澱処理水の微粒子除去率で見ると、注入方式 B の 2 段注入方式が最も微粒子の除去効果が高い。また、2 段注入方式でも同 G 値 ($550+550\text{sec}^{-1}$) が微粒子の除去率が良く、次いで同 G 値 ($250+250\text{sec}^{-1}$) そして偏 G 値による ($550+250\text{sec}^{-1}$) の順となっている。2 段注入でも偏 G 値の ($250+550\text{sec}^{-1}$) はジャーテスト実験と同様にあまり芳しくない結果であった。

一方、砂ろ過処理水の微粒子数では、微粒子数の有意差は見え難いが同 G 値 ($550+550\text{sec}^{-1}$) が最も安定している状態であった。従って、ジャーテスト実験も考慮すると PAC+高分子凝集剤においては 2 段注入同 G 値 ($550+550\text{sec}^{-1}$) が最適な条件と判断した。