

二段急速攪拌法の適用による初期粒子数の低減化に関する基礎的検討

Reducing the Number of Primary Particles by Adapting Two-Sep Series Rapid Agitation

北見工業大学 フェロー 海老江 邦雄 (Kunio Ebie)
 " " 川口 倫由 (Toshiyuki Kawaguchi)
 " " ○学生員 木村 大介 (Daisuke Kimura)
 " " 阿蘇 卓也 (Takuya Aso)

1 まえがき

水道水中への原虫クリプトスポリジウムの流出事故が契機となって、ろ過水濁度の基準は2から0.1mg/Lへと変わり厳しくなった。それ以来、浄水処理における粒子分離の高効率化が、以前よりも重要な課題になっている。

粒子分離の向上を図るには、図1が示すように、急速攪拌槽で径1-3 μmの初期粒子数を可能な限り減少させておくことが重要である。また、Yaoら¹⁾も、ろ過池における径1-3 μm粒子の捕捉効率が低いことを指摘している。

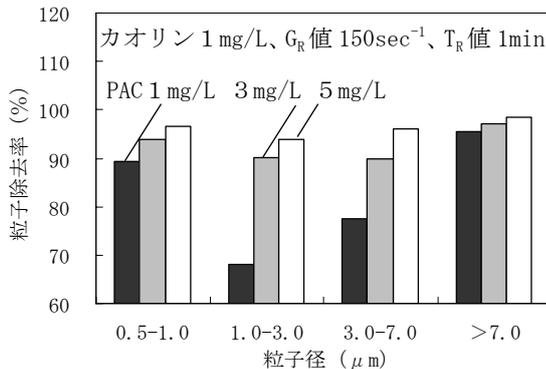


図1 直接ろ過のろ過初期 (ろ過0-1時間) における粒子除去率

本論では、最初に、PACの最適 G_R 値において粒子の集塊化安定相まで攪拌を継続した後、ノニオン系ポリマー (以下:ポリマー) を注入すると同時に G_R 値を低下させて、微フロックの破壊を抑制しつつ粒子の集塊化を促進させる二段急速攪拌法が、径1-3 μmの粒子数を減少させる上で極めて有効な方法であることを検証した。

2 実験

2.1 装置

図2に掲げる回分式凝集実験装置は、矩形水槽 (縦200mm×横200mm×高さ300mm)、攪拌機 (10~800rpmに設定可能、3段の攪拌翼 (1段当たり6枚の翼))、粒子カウンター (富士電機システムズ製:ZVM型)、流量ポンプ (50mL/min) 及びデータ記録用PCで構成されている。

なお、本論の実験に採用した急速攪拌強度 G_R 値 (sec⁻¹) に関しては、(1)式から算出した。

$$G_R = \sqrt{\frac{C \cdot v^3 \sum(B \cdot H)}{2\gamma \cdot V}} \quad \dots (1)$$

ここで、C:攪拌係数 (1.5を採用)、B:攪拌翼幅 (m)、H:攪拌翼高さ (m)、v:攪拌翼の周辺速度 (m/sec)、 γ

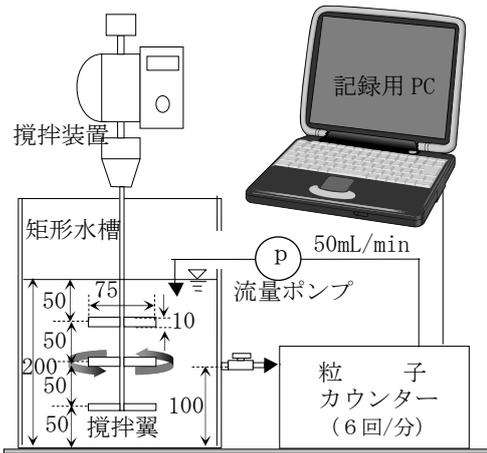


図2 回分式凝集実験装置の模式図 (mm)

: 動粘性係数 (m²/sec)、V:攪拌槽の容量 (m³) である。

2.2 方法及び項目

表1の水道水 (20±0.1℃) にカオリンを加え濁度1 mg/Lに調整した表2に掲げる試料水8ℓを前述の矩形水槽に入れた後に所定の強度で急速攪拌を行った。急速攪

表1 北見工業大学水道水水質 (深井戸水)

項目	測定値
pH	6.5
濁度 mg/L	≒0.03
電気伝導度 μS/cm	94.1
アルカリ度 mg/L	57.0
硬度 mg/L	74.7
蒸発残留物 mg/L	231.0
塩素イオン mg/L	16.1
KMnO ₄ 消費量 mg/L	0.5
全鉄 mg/L	0.15
マンガン mg/L	<0.005

拌を継続させた状態で、PACを注入し、その直後から、試料水中の粒子の径及び数 (測定径1-3、3-7、7-10、10-15、15-20、20-30及び30 μm以上) を約60分後まで10秒間隔で継続して測定した。

表2 カオリン1mg/L中の粒子数 (ZVMで測定)

粒子径 μm	粒子数 個/mL	割合 %
1~3	20,583	76.73
3~7	5,288	19.71
7~10	684	2.55
10~15	237	0.88
15~20	21	0.08
20~30	10	0.04
30~	3	0.01

本論の目的を達成するために、以下の実験を行った。すなわち、①PAC注入後の粒子数の減少過程を明らかにした。② G_R 値1,000sec⁻¹の下でPAC注入に続くポリマーの最適注入時期について検討した。③ G_R 値低下とポリマ

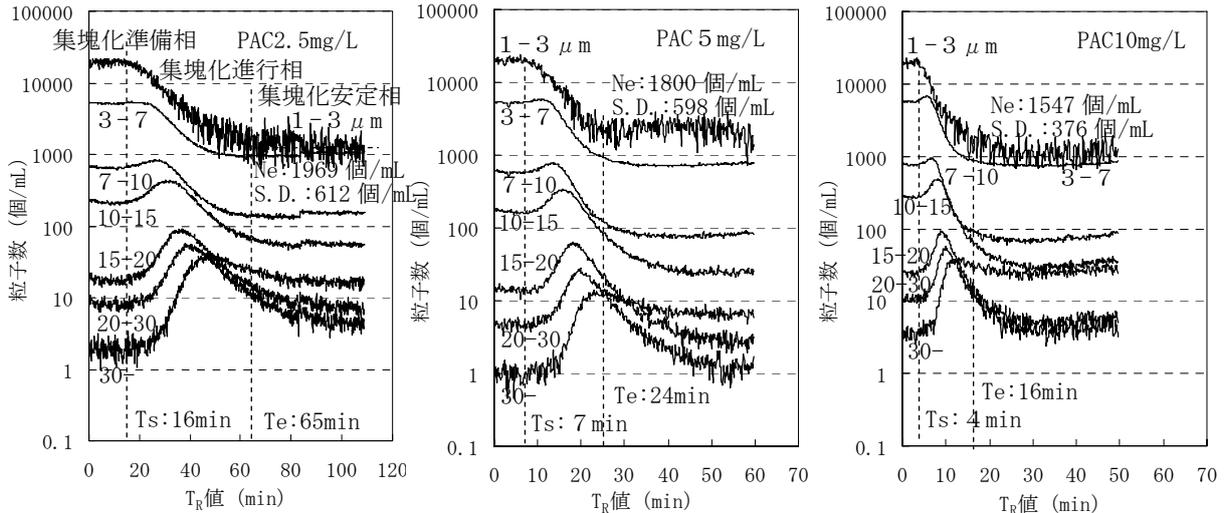


図3 PAC注入率の上昇に伴う粒子径別の粒子数の動き (G_R 値 150sec^{-1})

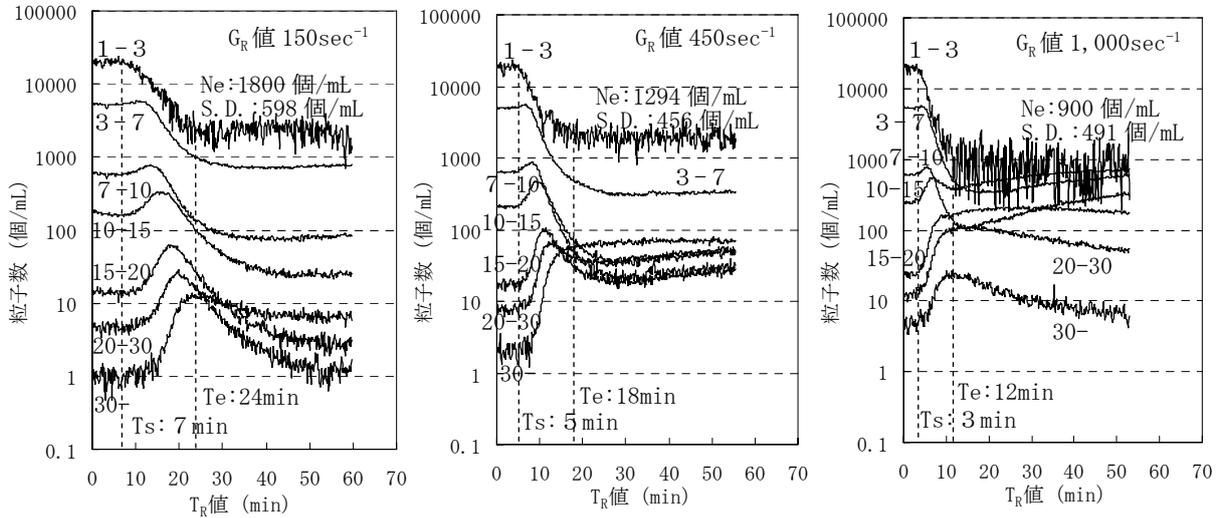


図4 G_R 値の上昇に伴う粒子径別の粒子数の動き (PAC 5 mg/L)

一注入との併用、即ち、二段急速攪拌の効果について検討した。④二段急速攪拌法において、PAC 注入率及びポリマー注入率を上昇させた場合の効果について検討した。

3 結果及び考察

3.1 PAC 注入後の粒子数の減少過程

図3及び図4は、PAC 注入後の粒子数の動きを示して

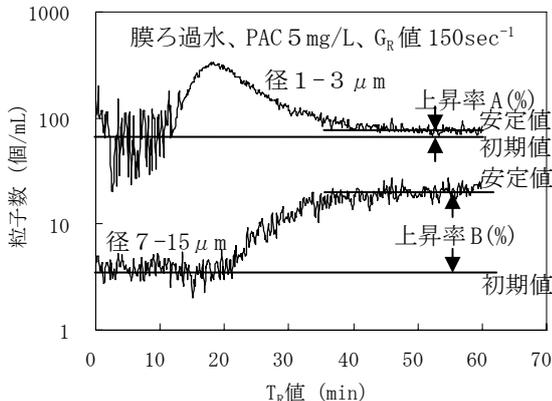


図5 PAC析出物の動き

いる。これら図で見られるように、PAC 注入に伴う初期粒子の集塊化過程の様子を詳細に把握することができた。その中で、径 $1-3\ \mu\text{m}$ の粒子数は、その変動が殆どない集塊化準備相、粒子数が急激に減少する集塊化進行相、集塊化による減少と微フロックの破壊による上昇とがバランスする集塊化安定相を経て、減少する。PAC 注入から集塊化安定相に入るまでの時間 (T_e) は、PAC 注入率及び G_R 値を上昇させることで短くなる。²⁾ また、集塊化安定相の粒子数 (N_e) は、PAC 注入率及び G_R 値を上昇させることで減少し、 G_R 値 $1,000\text{sec}^{-1}$ で最少となる。²⁾ こ

表3 図5の凝集剤析出物の挙動の解析結果

G_R 値 sec^{-1}	初期値 個/mL		安定値 個/mL		上昇率 %	
	1-3	7-15	1-3	7-15	A	B
150	77	4	78	20	1.3	400
450	128	2	315	9	146.1	350
600	156	1.5	552	6	253.8	300
800	170	5	743	18	337.1	260
1000	232	10	1069	32	360.8	220
1500	156	14	1262	18	709.0	28.6

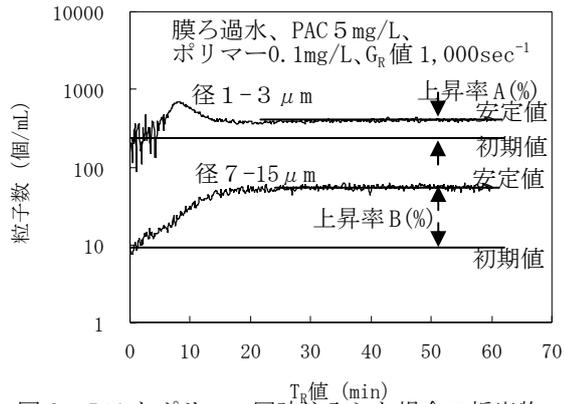


図6 PAC とポリマー同時注入した場合の析出物の動き (PAC 5 mg/L、 G_R 値 1,000sec⁻¹)

これは、図5及び表3のように、高 G_R 値では、膜ろ過水中に含まれる初期の径1-3 μ mの粒子数から安定相における同径の粒子数への上昇率は高く、同様に径7-15 μ mの上昇率は低くなったことから、PACの析出物が大きな塊を作らず、高い表面積を維持するためである。

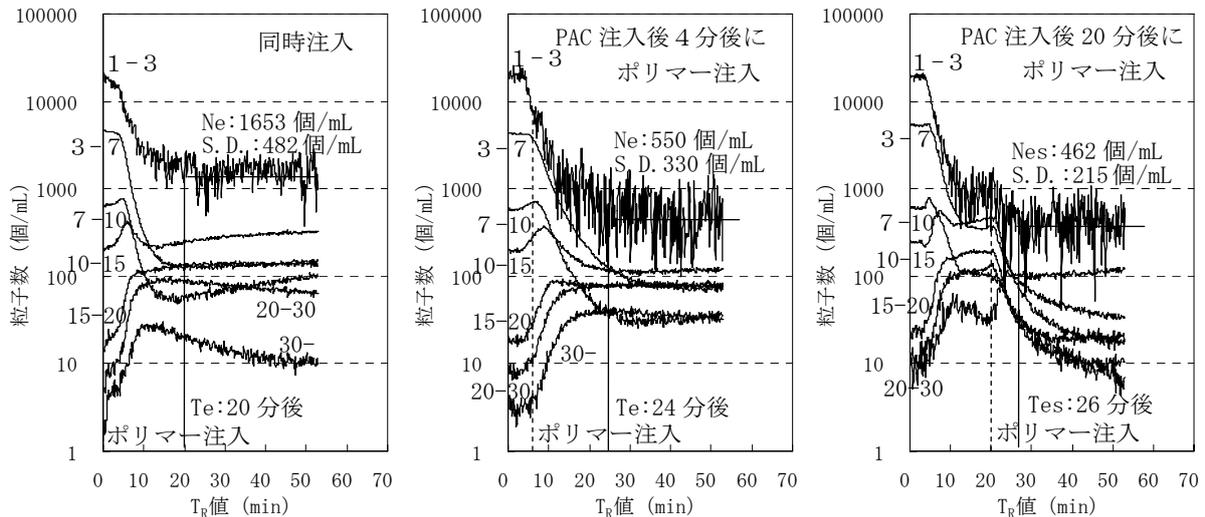


図7 ポリマー注入の時期による粒子数の動き (PAC 5 mg/L、 G_R 値 1,000sec⁻¹、ポリマー0.1mg/L)

したがって、Neを更に減少させるためには、 G_R 値1,000sec⁻¹を採用してPAC析出物の大きな表面積を維持しながら、微フロックの破壊の抑制と粒子の集塊化の促進を目的に、ポリマーを注入する方法が有効になる。

3.2 ポリマー注入の最適時期

図6及び表4は、PACとポリマーとを同時注入した場合の凝集剤析出物の挙動である。それらの同時注入では、ポリマーの注入率が高いほど、膜ろ過水中の径1-3 μ mの初期値から同径の安定値への上昇率は低く、径7-15 μ mについては上昇率が高くなっている。これは、凝集剤析出物の塊は大きく、表面積は小さくなっていることを示している。すなわち、そのような場合には、表面積が低下するために、PACによる微細な初期粒子の取り込みが阻害されている。したがって、ポリマーは、PACが初期粒子を取り込んだ後に注入されるべきである。

図7は、PAC注入と同時に(集塊化準備相)、4分後(集塊化進行相)及び20分後(集塊化安定相)にポリマーを

表4 図6の凝集剤析出物の挙動の解析結果 (PAC 5 mg/L、 G_R 値 1,000sec⁻¹)

ポリマー注入率	初期値 個/mL		安定値 個/mL		上昇率 %	
	1-3	7-15	1-3	7-15	A	B
0.0	232	10	1069	32	360.8	220.0
0.1	198	11	743	38	275.3	245.5
0.2	179	9	404	55	125.7	511.1
0.3	172	14	156	97	-9.3	592.9

注入して、ポリマーの注入の最適時期について検討した結果である。このように、集塊化安定相にポリマーを注入した場合に、最も径1-3 μ mの粒子数を低下させることができた。その場合、ポリマー注入直後から微フロックの破壊が抑制されるために粒子数は更に減少し、第二の安定相に入っていくことを確認した。そこにおける粒子数(Nes)は、PACだけを使用した場合の最少値900個/mLの半分程度に減少している。

つづいて、Nesを更に減少させるために、 G_R 値低下法を併用した二段急速攪拌法について検討した。

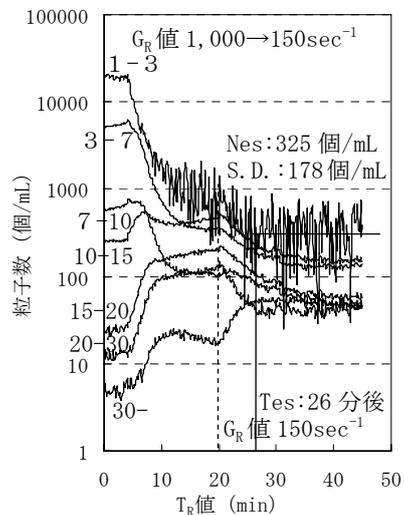


図8 G_R 値低下法による粒子数の動き (PAC 5 mg/L)

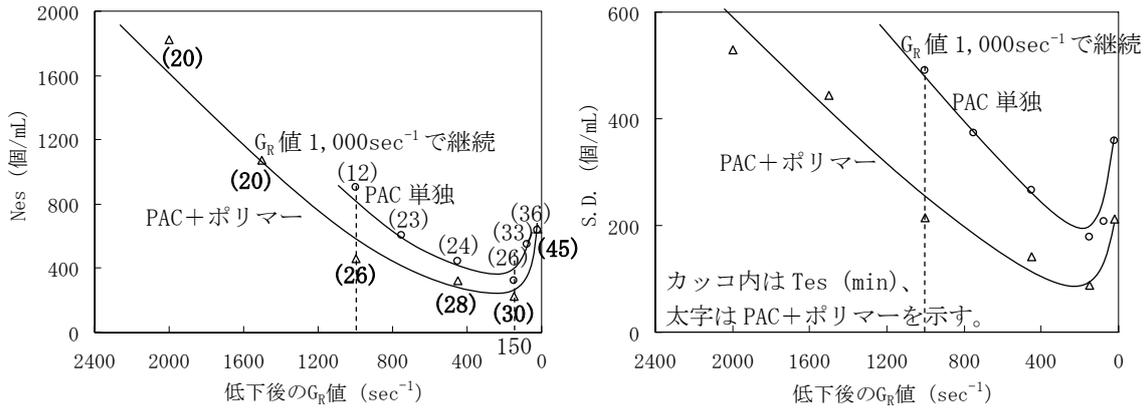


図9 二段急速攪拌法による Ne 及び S.D. の動き

3.3 二段急速攪拌法の効果

図8は、集塊化安定相に G_R 値低下法を導入した場合における結果の一例³⁾を示している。ポリマーを注入した場合と同様に、 G_R 値の低下直後から微フロックの破壊が抑制されるために粒子数が減少し、第二の安定相を迎えている。そこで、 G_R 値を低下させた後の Nes を PAC だけ注入した場合とポリマーを併用注入した場合について図9に示した。このようにポリマー注入法と G_R 値低下法とを組み合わせさせた二段急速攪拌法によって、Nes を更に低下させることができた。

しかしながら、第二安定相に入るまでの時間(Tes)は、最適な G_R 値 150sec^{-1} を用いた場合には30minと長くなった。そこで、PAC 注入率及びポリマー注入率を上昇させて、Tes を短縮させる検討をつぎに行った。

と同時に、集塊化を阻害しているためである。したがって、ポリマー注入率の上昇はSTRの上昇にも繋がることから、その注入率は 0.1mg/L 程度に止めておくことが必要である。

4 まとめ

原水中に約21,000個/mLあった径 $1-3\ \mu\text{m}$ の粒子数は、通常の急速攪拌 (G_R 値 150sec^{-1}) の下で PAC 注入率を上昇させる方法によって $1,547\ \text{個/mL}$ (PAC 10mg/L) へと減少(92.6%)した。それに対し、二段急速攪拌法(PAC 10mg/L 、ポリマー 0.1mg/L) の場合には、約 $170\ \text{個/mL}$ に減少(99.2%)させることができた。これによって、二段急速攪拌法の有効性を検証できたと考えている。

今後、同法を実施設に導入するにあたっては、二段目

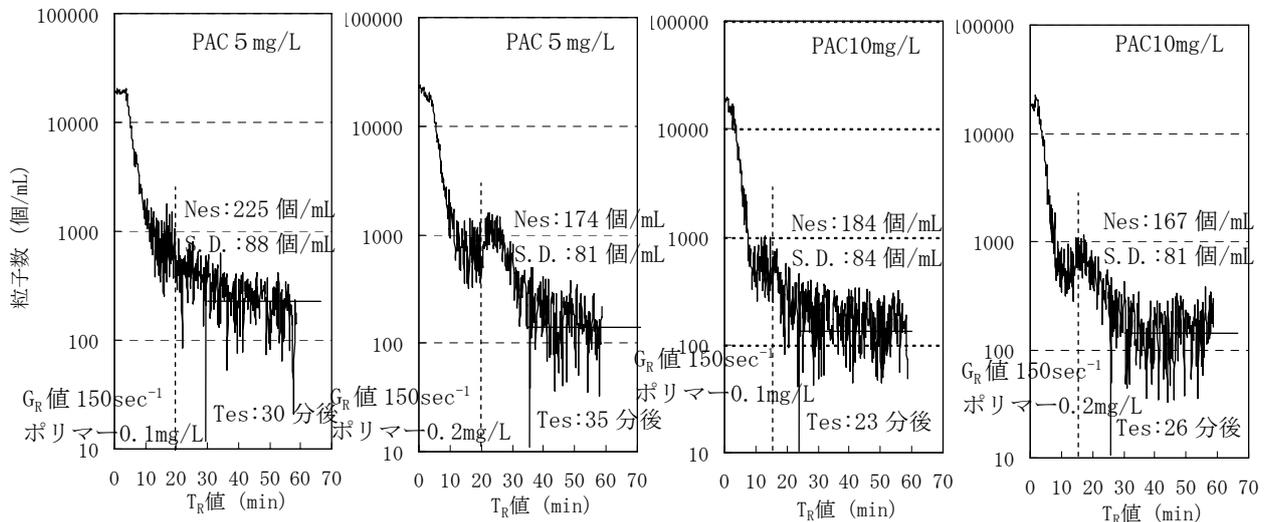


図10 PAC 注入率及びポリマー注入率を上昇させた二段急速攪拌法による径 $1-3\ \mu\text{m}$ の粒子数の動き

3.4 第二安定相までの時間の短縮実験

図10は、PAC 注入率及びポリマー注入率を上昇させた二段急速攪拌実験の結果である。PAC 注入率を上昇させた場合には、Te が短くなることから、ポリマー注入及び G_R 値低下の時間を PAC 注入から 15min とした。PAC 注入率を上昇させた場合には、Tes が短くなるとともに Nes が低下している。一方、ポリマー注入率を上昇させた場合には、Tes が長くなるとともに Nes の減少の程度が小さい。これは、ポリマーが微フロックの破壊を抑制する

に注入するより適切な凝集剤の選定や連続式装置による検証実験が必要になると考えている。

《参考文献》

- 1) Yao, K.M., Habibian, M.T. and O'Melia, C.R.: Water and Wastewater Filtration Concepts and Application, Environmental Science & Technology, Vol.5, pp.1105-1112, 1971
- 2) Ebie, K., Kawaguchi, T. and Yamaguchi, D.: Dynamic analysis of coagulation of low turbidity water sources using Al- and Fe-based coagulants, Water Science & Technology, Vol.53, No.6, pp.67-74, 2006
- 3) 海老江 邦雄、川口 倫由、落合 寿昭、樋口 真也、田村 繁生、急速攪拌の適正化技術の適用による凝集処理後に残留する初期粒子数の低減化、CD-ROM、VII-4、土木学会北海道支部