

不同滑移速度下高嶺土摩擦係數-剪位移曲線探討：從鐵氟龍汙染與微觀構造切入



黃柏歲、董家鈞

國立中央大學應用地質研究所

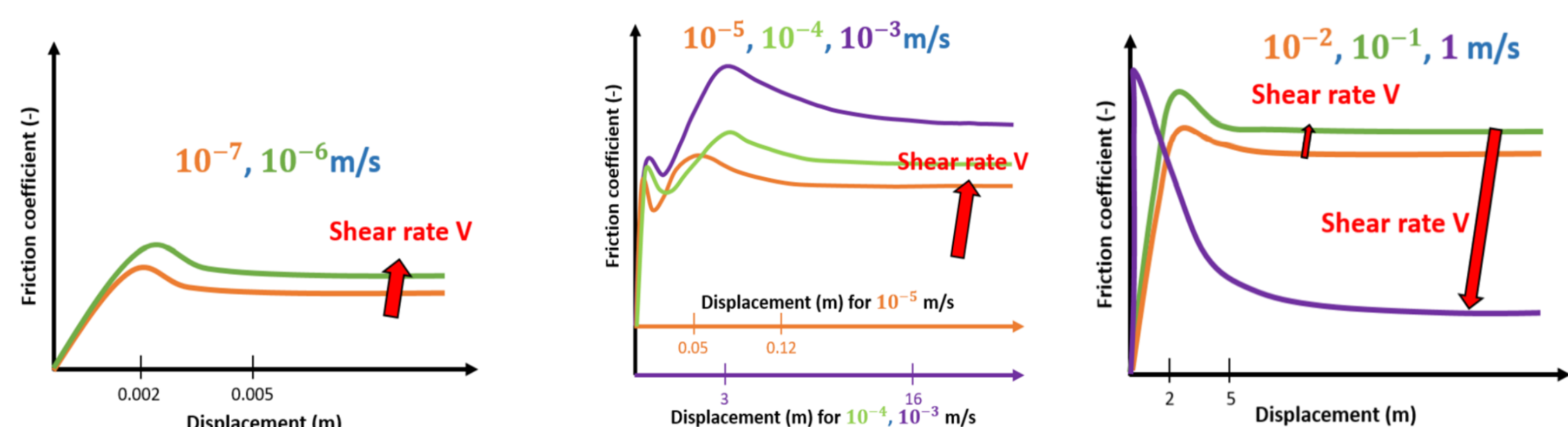


前言及研究目的

- 山崩滑動面的摩擦特性與滑移速度及滑移距離息息相關，過去已有許多學者利用低速至高速旋剪儀來探討及模擬長位移山崩的摩擦行為。前人以氣乾高嶺土為材料於不同滑移速度下進行旋剪試驗，發現在不同滑移速度區間下具有不同的摩擦係數-剪位移曲線型態，但對於不同滑移速度下的摩擦係數-剪位移曲線型態的發生並無詳細的討論，前人研究較著重於摩擦律的建立，因此本研究試圖對高嶺土的摩擦曲線型態的產生及演變做更深入的研究及探討。
- 本研究所使用的實驗儀器旋剪儀相較於傳統土壤剪力試驗(直剪、三軸試驗)，具有能夠達到長位移剪切的優勢，當試體為粉末時，會以低摩擦特性的鐵氟龍環包圍試體，然而在高速旋剪試驗，鐵氟龍環可能因為高溫變質或受剪磨損，進而汙染試體，會有影響實驗結果的疑慮，故本研究會考慮鐵氟龍汙染對摩擦曲線型態的影響，對受剪高嶺土進行鐵氟龍汙染的含量量化。
- 由於微觀構造一定程度上反映實驗材料之力學特性，因此本研究同時也利用不同剪位移下的微觀構造的觀察，試圖討論微觀構造與摩擦係數-剪位移曲線演變間的關係。

文獻回顧

- 江宜佳(2020)以氣乾高嶺土為材料在不同滑移速度下進行旋剪試驗，並歸納出不同的曲線型態



參考文獻列表

- Kaneki et al. (2020)提出了以XRD分析量化鐵氟龍汙染之方法，作者定義鐵氟龍含量在受剪試體內的重量百分比為

$$M_{PTFE} = \frac{I_{18}^{SAMPLE}}{I_{18}^{PTFE}/C_{PTFE}}$$

受剪試體之XRD結果 (18度峰值強度)

純鐵氟龍之XRD結果 (18度峰值強度)

鐵氟龍之結晶度(=0.5358) (Hu, 1982; Honda et al., 2013)

- Honda et al. (2013)提出了以DSC分析量化鐵氟龍汙染含量之方法：受汙染受剪試體內之鐵氟龍佔整個試體之重量百分比為

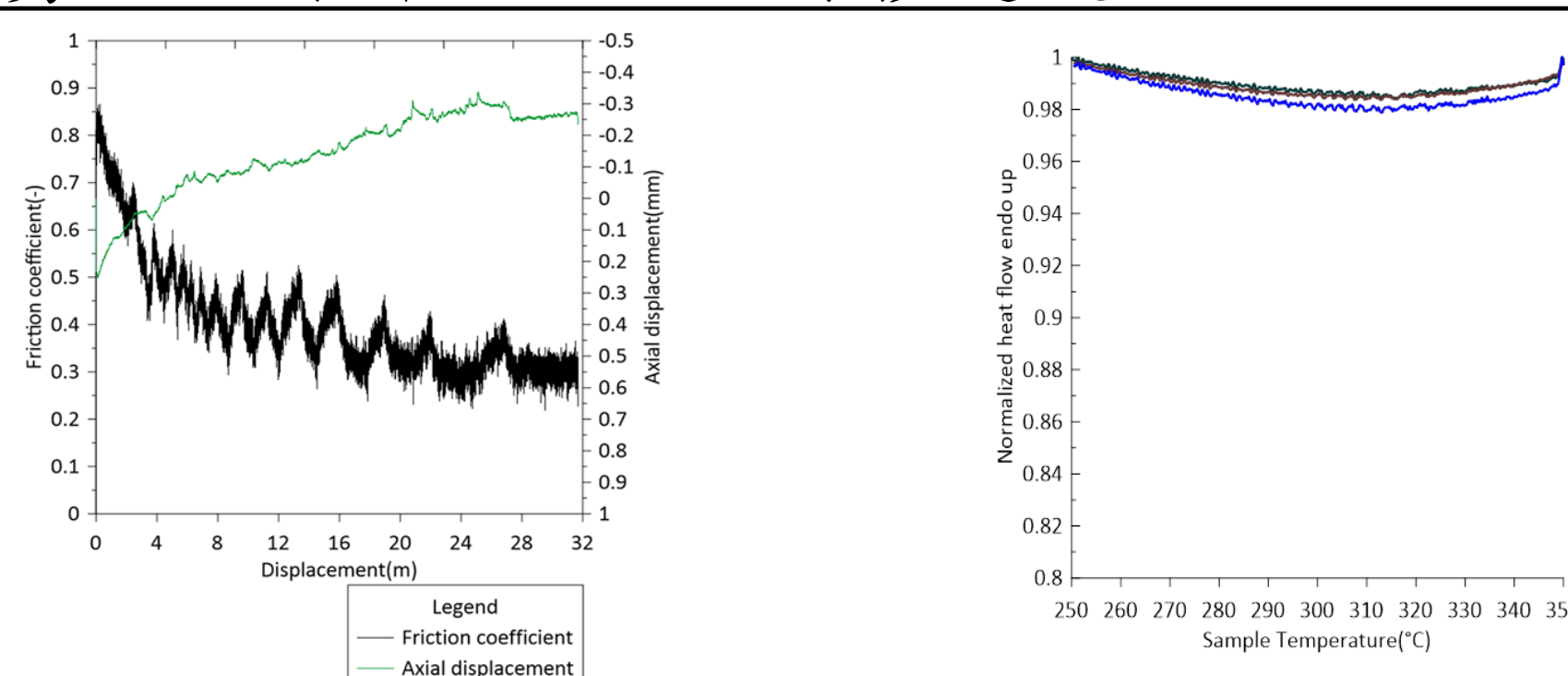
$$M_{PTFE} = \frac{\Delta H_{APP}}{\Delta H_{pure\ teflon}}$$

受剪試體DSC分析之潛熱值

純鐵氟龍DSC分析之潛熱值

結果與討論

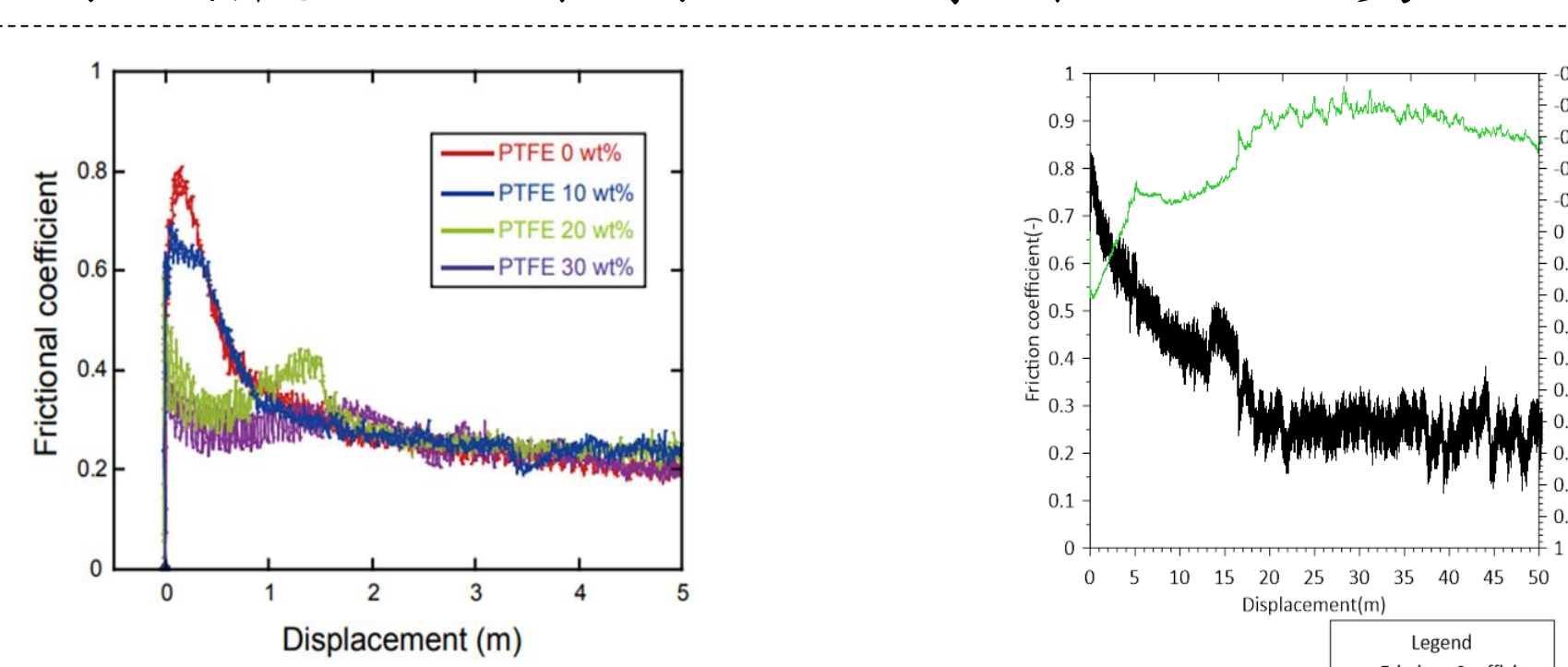
旋剪試驗條件：0.7m/s滑移速度，1MPa正向應力



無放熱訊號(無汙染)

旋剪試驗結果 受剪後高嶺土之DSC分析結果

探討鐵氟龍汙染對1m/s摩擦係數-剪位移曲線的影響



- 鐵氟龍粉末對穩態摩擦係數的影響甚小
- 隨著鐵氟龍含量越多尖峰摩擦係數減少的程度越顯著

頁岩粉末混合鐵氟龍旋剪試驗結果 (Honda et al., 2013)

旋剪試驗結果(江宜佳, 2020)

Run number	Velocity (m s ⁻¹)	Normal stress (MPa)	Total displacement (m)	Proportion of PTFE powder before experiment	
				Outer	Inner
HVR2734	1.31	2.0	5.23	0.0	0.00
HVR2368	1.31	2.0	5.23	10.0	0.00
HVR2365	1.31	2.0	5.23	20.0	0.00
HVR2369	1.31	2.0	5.23	30.0	0.00

頁岩粉末混合鐵氟龍旋剪試驗條件

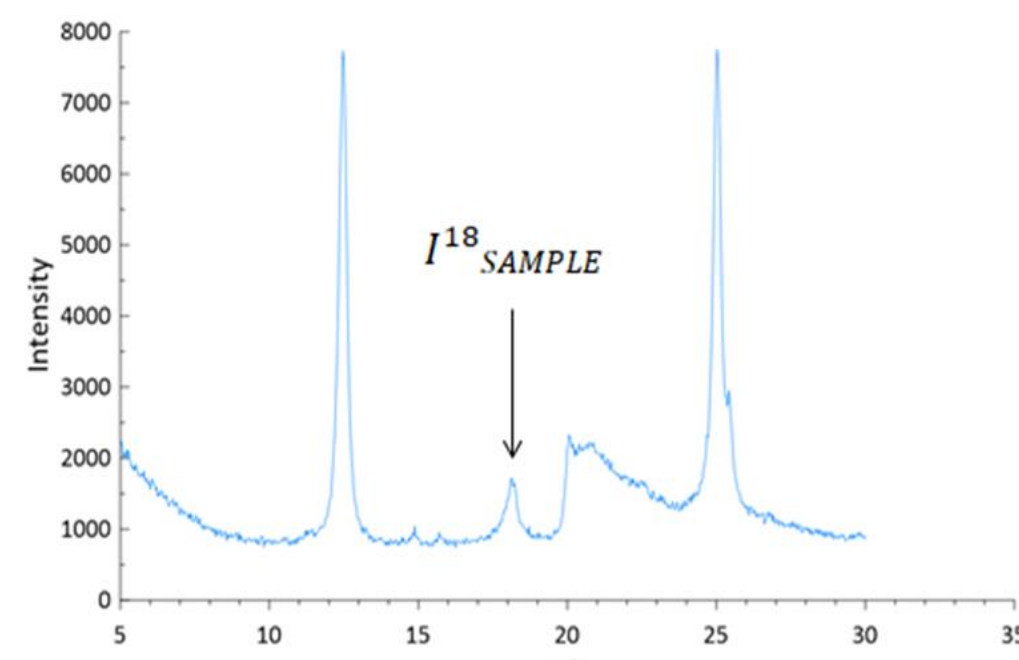
結果與討論

受剪高嶺土鐵氟龍汙染含量量化

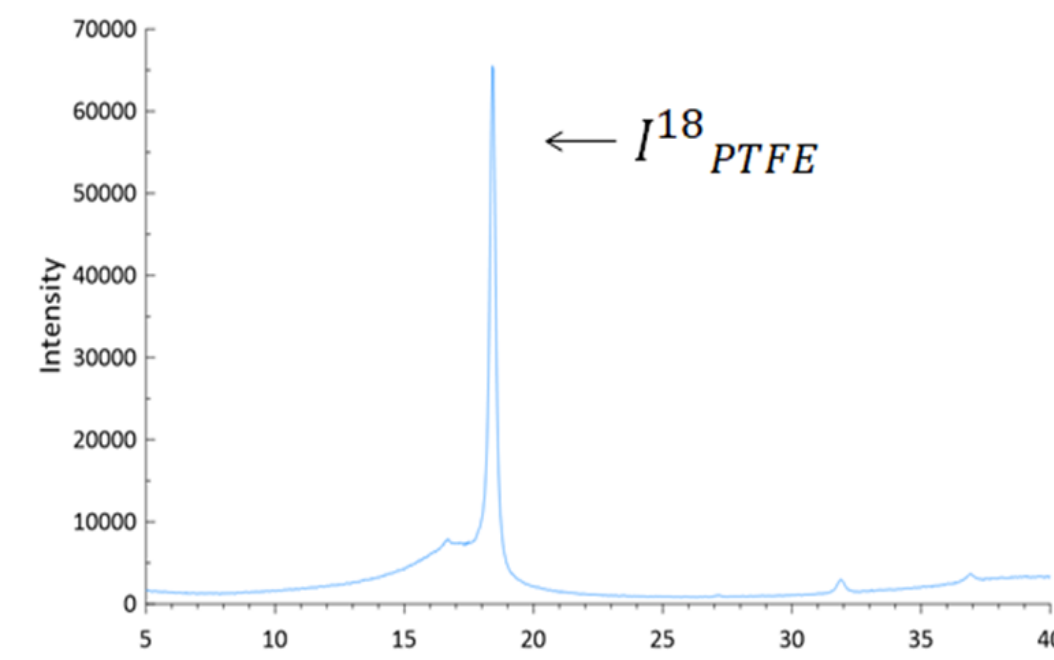
旋剪試驗條件：1m/s 滑移速度，1MPa 正向應力

利用XRD分析進行量化

相較於峰值，以繞射峰之面積來計算會相對較為準確(Hubbard and Smith, 1977; Ong et al., 2000)。本研究參考Trivedi et al. (2017)以峰值乘上半高寬來得到面積之方式，將Kaneki et al. (2020)所提出的以峰值計算鐵氟龍含量之方式改成以面積來做計算。



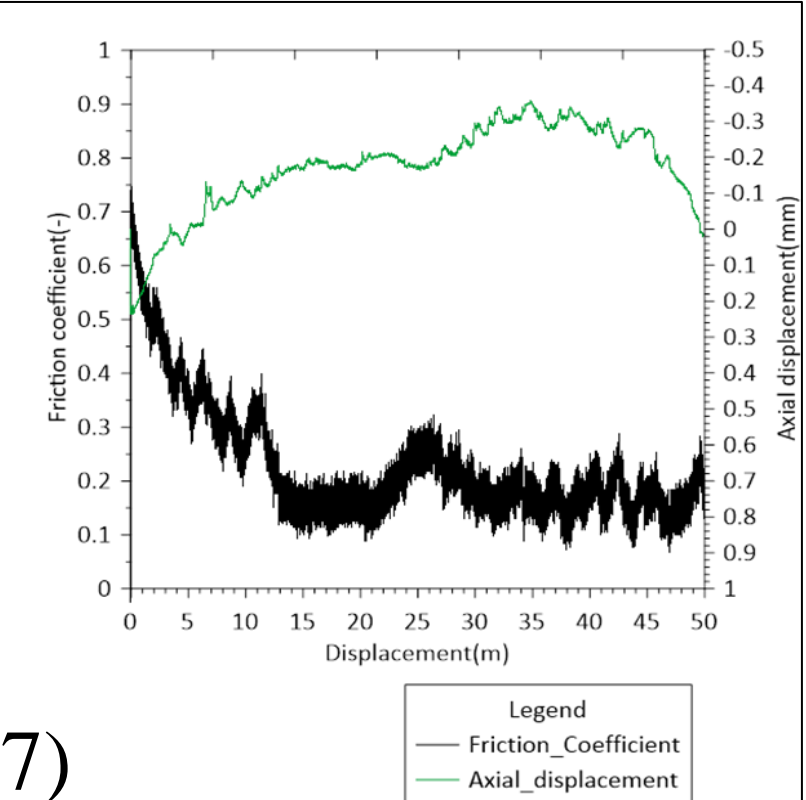
受剪高嶺土XRD分析結果



純鐵氟龍XRD分析結果

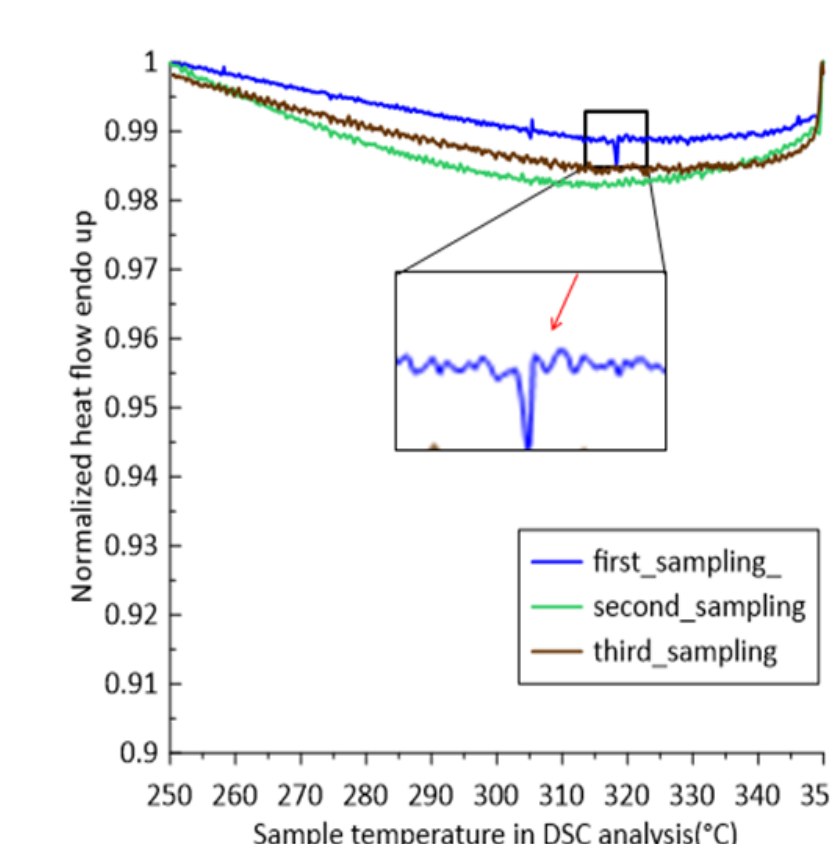
根據計算，鐵氟龍含量為4.61(±0.5)%

實驗時產生的高溫可能會讓XRD分析結果低估

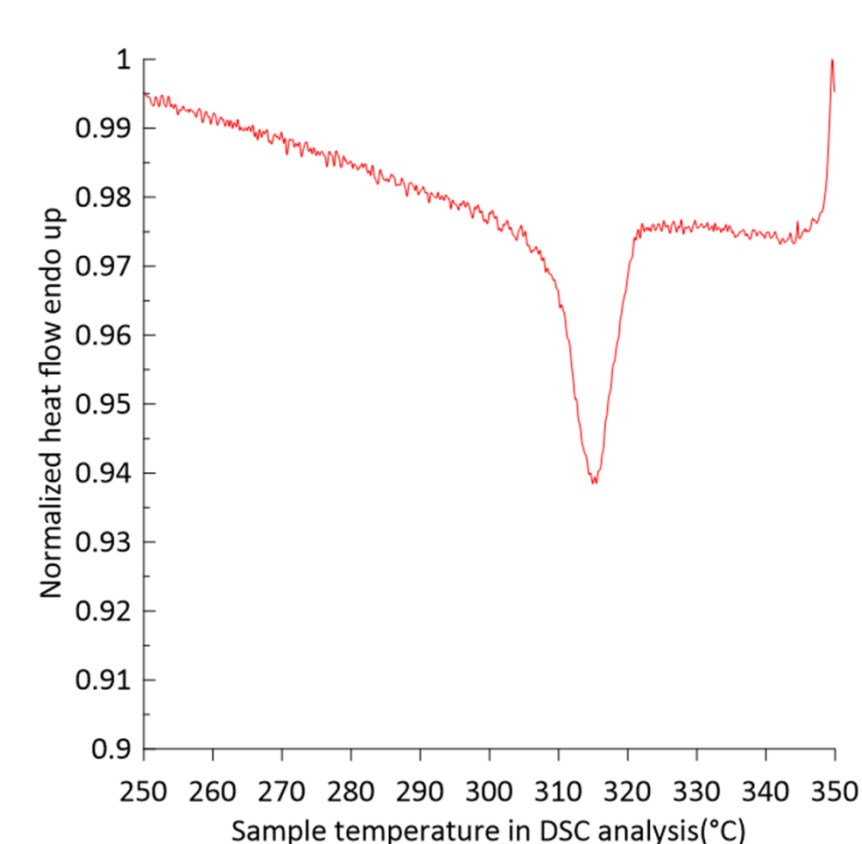


旋剪試驗結果

利用DSC分析進行量化



受剪高嶺土DSC分析結果

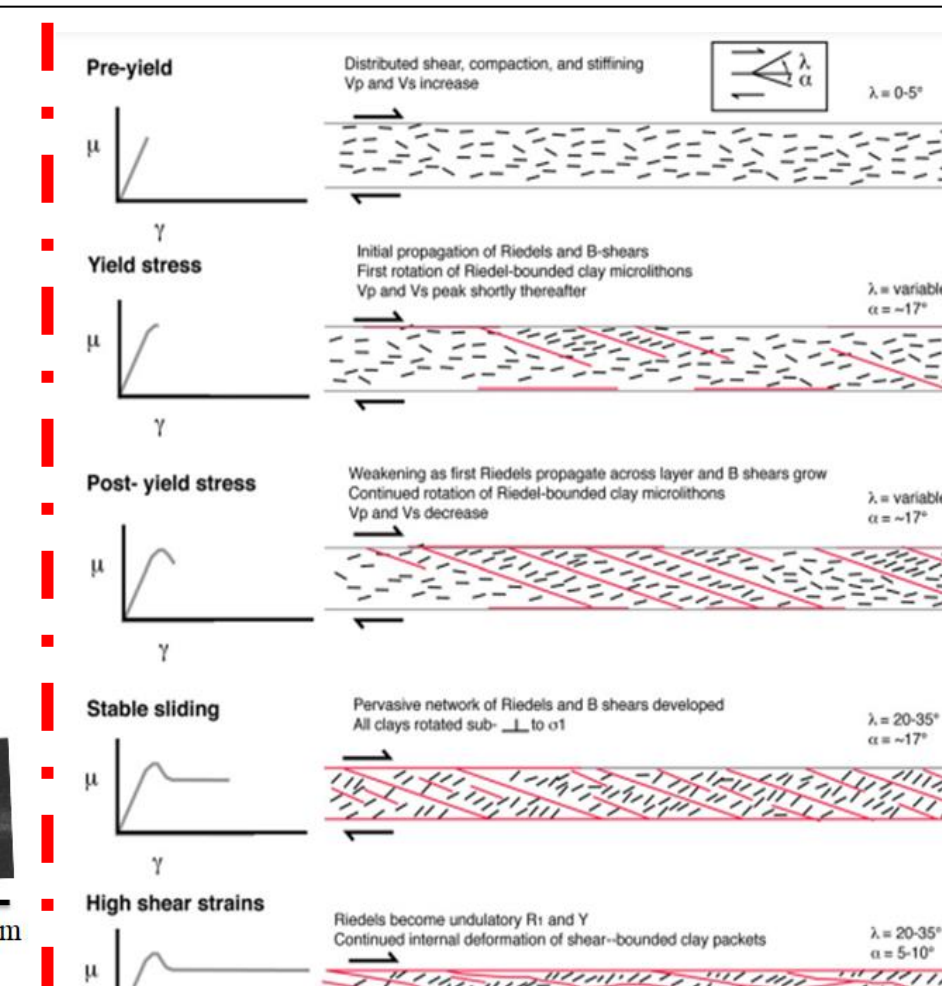
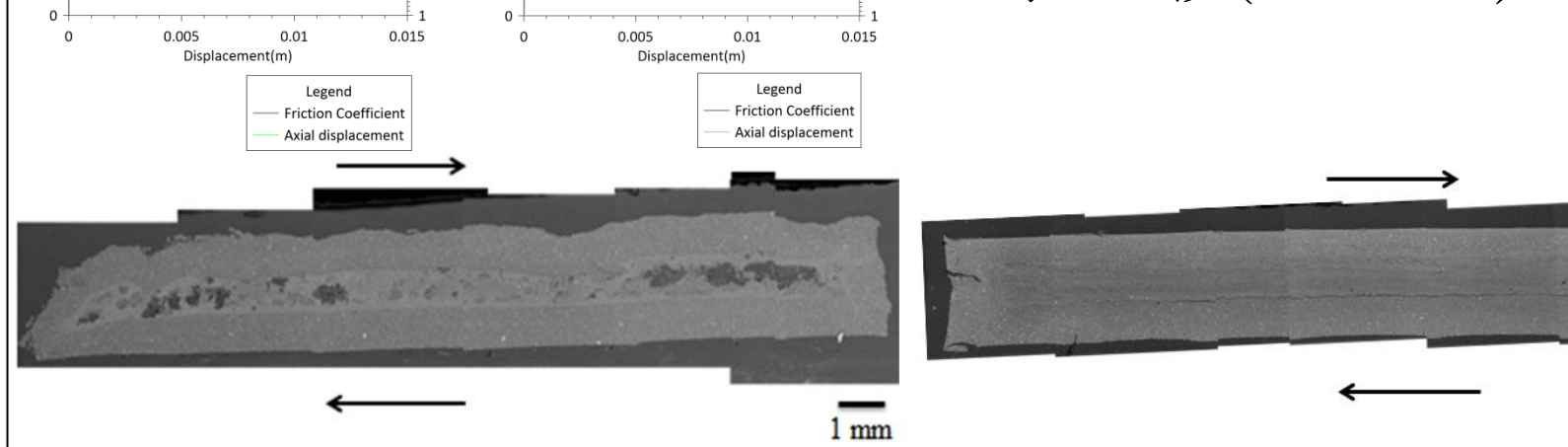


純鐵氟龍DSC分析結果

從試體外圍取樣三次，其中一次有看到放熱訊號，根據計算，得到鐵氟龍含量29.9%

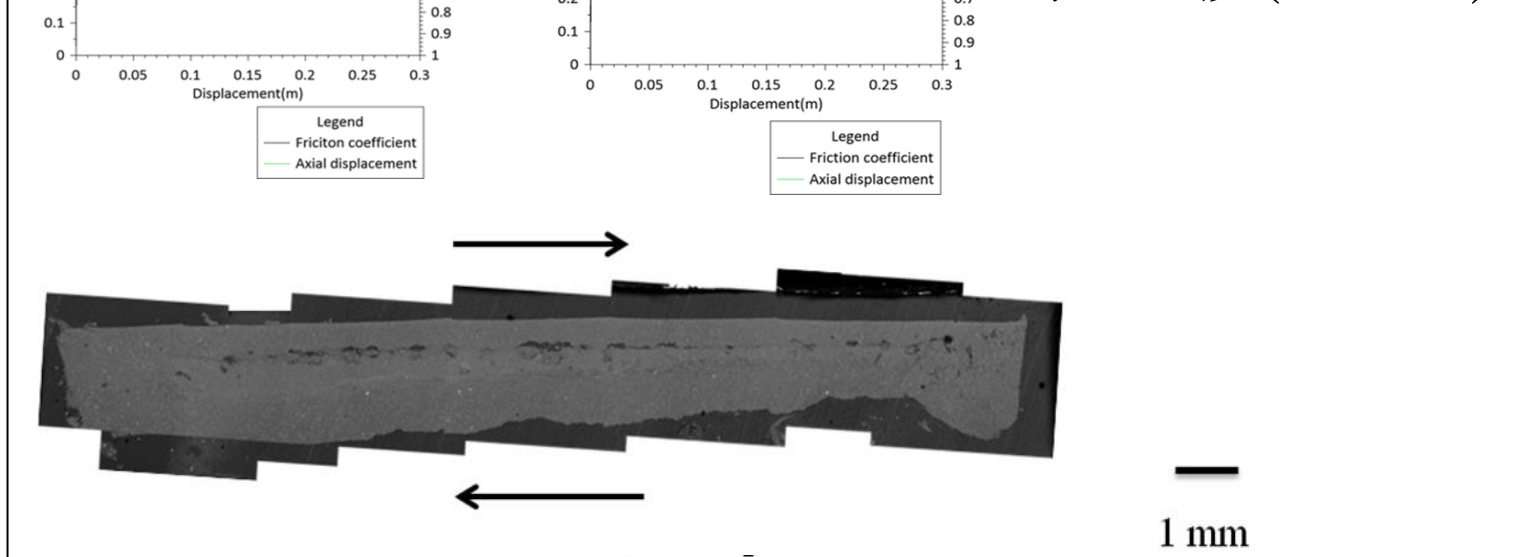
結果與討論 不同剪位移階段微觀構造

速度10⁻⁶ m/s
短位移(0.00024m)
長位移(0.014 m)

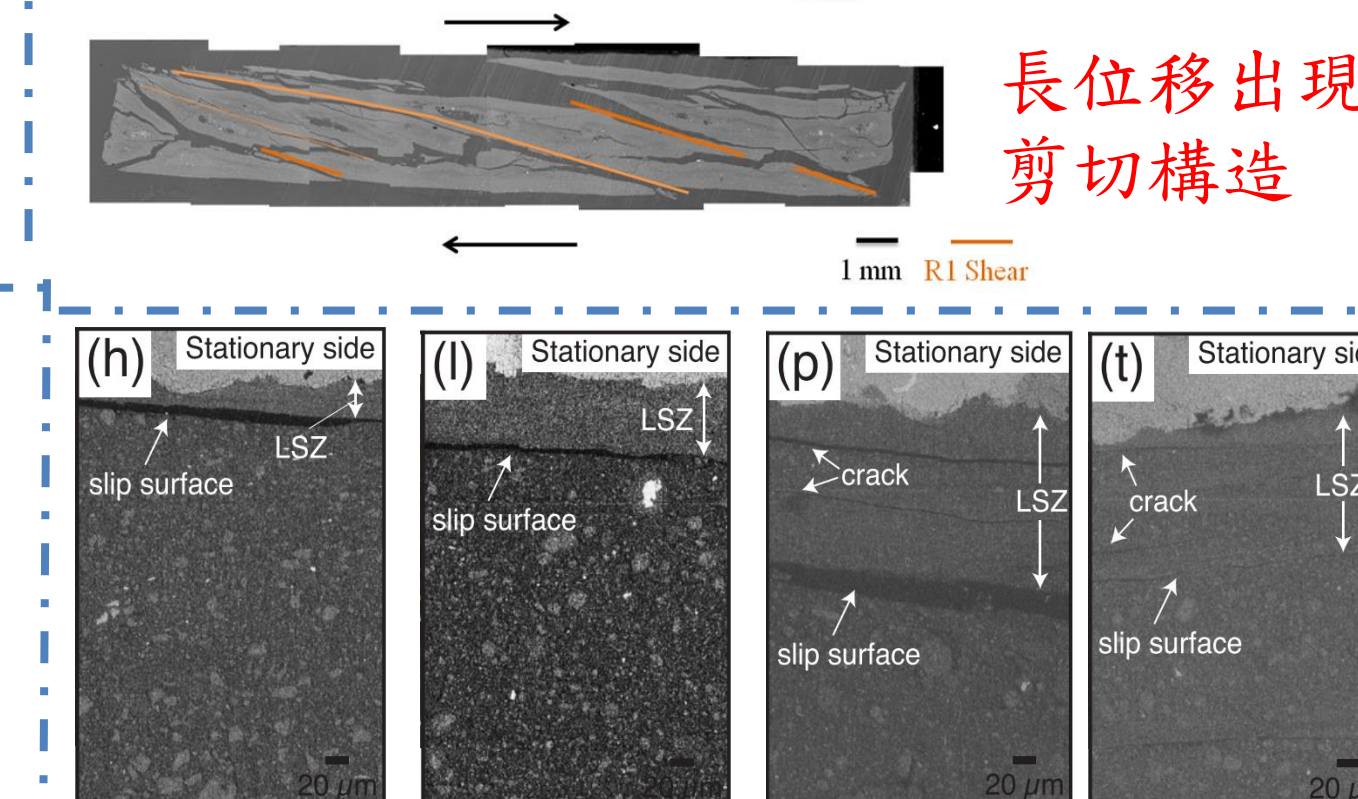


Haines et al., 2013

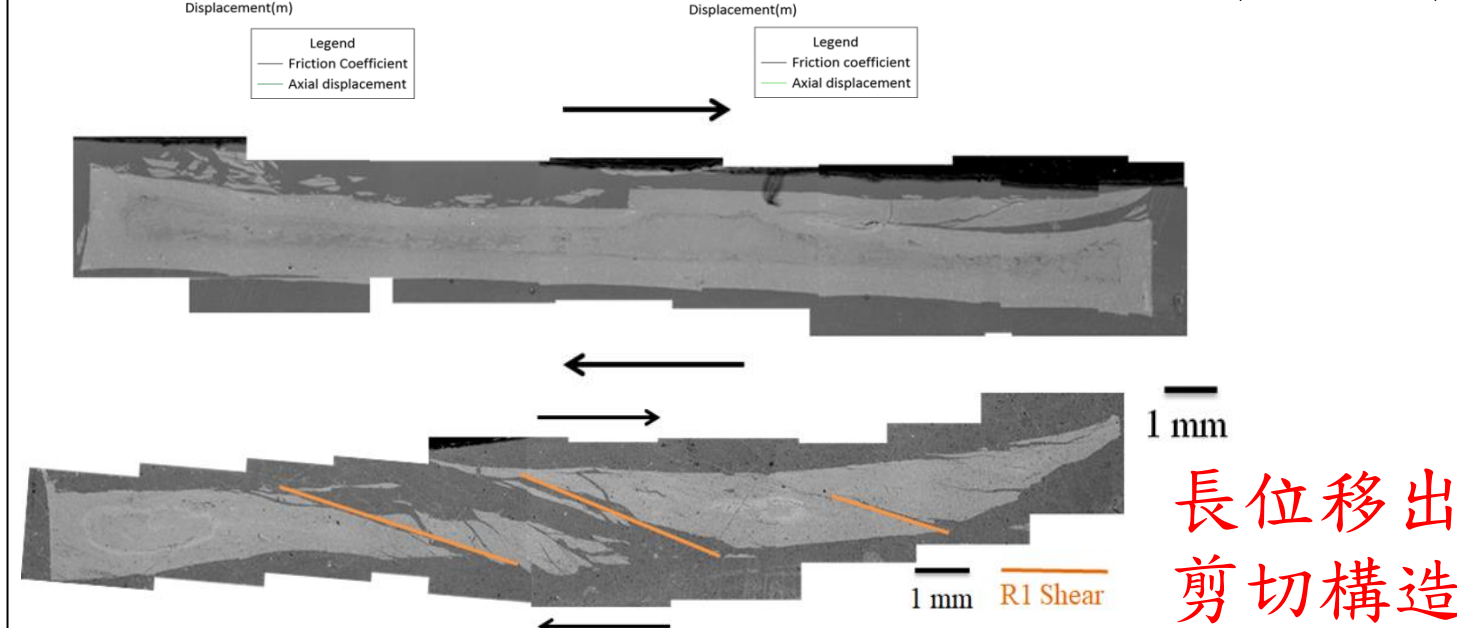
速度10⁻⁵ m/s
短位移(0.024m)
長位移(0.15m)



速度10⁻³ m/s
短位移(0.31m)
長位移(14.43m)



速度10⁻⁴ m/s
短位移(0.51m)
長位移(8.28m)



速度1m/s
剪位移1、5、30、62m
滑移集中帶隨剪位移增加厚度有增加的趨勢

Kaneki et al., 2020

結論

- 在正向應力1MPa，滑移速度1m/s之氣乾高嶺土，其DSC分析結果有29.9%之鐵氟龍汙染程度，但此汙染程度對於尖峰及穩態摩擦係數的影響是可忽略的。
- 在正向應力1MPa，滑移速度0.7m/s之氣乾高嶺土，其DSC分析結果顯示並無鐵氟龍汙染含量。由此結果，本研究認為江宜佳(2020)其餘小於0.7m/s滑移速度之實驗條件下的受剪試體不會含有鐵氟龍含量，即便存在鐵氟龍含量，也不會對實驗結果造成影響。
- 從滑移速度10⁻⁶ m/s(滑移強化曲線型態)，短位移及長位移之微觀構造來看，皆無發現明顯的剪切構造的發生，此速度下的變形是均勻的(Uniform)。而滑移速度10⁻⁵至10⁻³ m/s(具有兩個峰值之曲線型態)之短位移及長位移的微觀構造差異中，發現第二峰值才是對應Haines et al. (2013)的微觀構造結果中剪切構造開始出現的剪位移階段，而非第一峰值。