

グラウトホースの種類と切断面処理方法が伝い水の塩分浸透に及ぼす影響

(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	正会員	博(工)	○徳光 卓
(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会			岡田 繁之
(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	正会員		藤原 保久
(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	正会員		谷 慎太郎

Abstract : The authors had struggled experimental studies of the water leakage phenomenon streaming down the grouting hose's surface. As a result of past experiments, this water leakage occurs during periods when the temperature is below 5-10 degrees Celsius. On highways like expressways, deicing salt based on NaCl are sprayed during the winter. Therefore, the authors conducted a water drainage test that changed the treatment methods of cutting surface of several grout hoses, and experimentally confirmed the influence of these factors on the penetration of chloride ions. As a result, in the case of a grout hose with a smooth surface where the cutting surface was not treated, leakage of chloride ions was observed over the entire length of hose, but few leakages of chloride ions was observed when treated according to the specifications of the Japan Prestressed Concrete Institute. However, in order to prevent the leakage of salt water, it turned out that infilling work of mortar of the box-out part is important.

Key words : Grout hose , Water leakage , Leakage of salt water , Infilling work of mortar

1. はじめに

筆者らは、これまでの研究において、過去に建設されたポストテンション方式のプレストレストコンクリート橋におけるウェブや定着突起からの漏水はグラウトホース（以下、ホースと略す）の周囲を伝う水（以下、伝い水と略す）によるものであり、漏水は主に冬季に発生し、漏水の進入口にあたる箇所を塞ぐことで防水補修が可能であることを確認した¹⁾。また、表面が平滑なグラウトホースを切断しただけの処理方法では、ホースの材質に関わらず冬季に伝い水が発生することも確認し、凍結防止剤を散布する環境にある橋梁の場合、重篤な塩害を発生させる懸念があることを指摘した²⁾。

これまでの研究では伝い水の原因となる湛水に真水を用いていた。そのため厳冬期には湛水の凍結により伝い水が停止する場合もあったが、水から氷への相変化は、ホースと周囲との隙間の広さや、水のイオン濃度による氷温降下にも影響されるため、高濃度の凍結防止剤を含む水の場合には、従来、漏水が確認されなかった条件でも伝い水を生じる可能性が否定できない。また、これまでの研究では供試体作成後、材齢28日で湛水を実施したが、コンクリートの乾燥収縮が伝い水の発生を促進する可能性も否定できない。これらの要因のうち、本研究では冬季の凍結防止剤の散布に着目し、塩水を湛水させて伝い水の発生の有無を確認するとともに、ホースの周囲の塩化物イオンの分布を確認した。

2. 暴露試験

2.1 実験水準

供試体の概要を図-1に示す。実験には既報²⁾で使用した供試体を用いた。供試体は長さ1900mm、幅1100mm、高さ450mmの鉄筋コンクリート製であり、供試体上面に長さ1600mm、幅800mm、深さ150mmの窪みを設け、ホース端部を上面の窪み内に配置した。

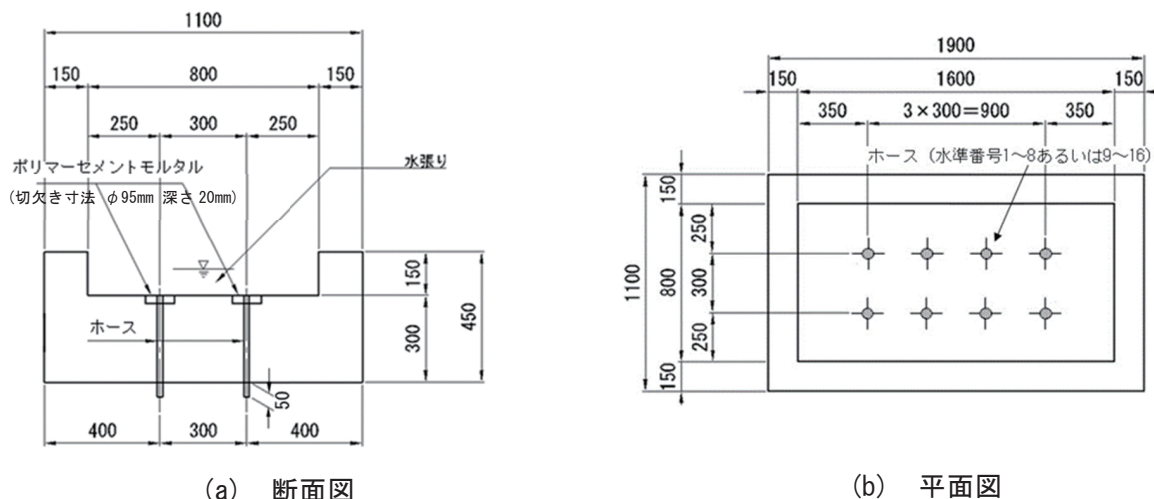


図-1 供試体の概要

表-1 実験水準

水準番号	記号	ホースの種類	呼び径 (mm)	ホース切断面のあと処理※			実験水準の意図
				切断	PCM	防水	
1	FVC15-1	ポリエステル繊維補強塩化ビニル製ホース	15	○	—	—	H5グラウトマニュアル仕様
2	FVC15-2			○	○	—	現仕様から防水工を除去
3	FVC15-3			○	○	○	現在の仕様
4	FVC15-4			○	—	○	補修時の対応案
5	FVC19-1		19	○	—	—	H5グラウトマニュアル仕様
6	FVC19-2			○	○	—	現仕様から防水工を除去
7	FVC19-3			○	○	○	現在の仕様
8	FVC19-4			○	—	○	補修時の対応案
9	PE-1	黒色ポリエチレン製ホース	13	○	—	—	過去～S50年代の一般的材料
10	PE-2			○	—	○	補修時の対応案
11	PE-3			○	○	○	補修時の対応案
12	TV-1	透明塩化ビニル製ホース	19	○	—	—	S50年代中盤～H5頃の一時的材料
13	TV-2			○	—	○	補修時の対応案
14	TV-3			○	○	○	補修時の対応案
15	CPE-1	黒色ポリエチレン製コルゲートホース	22	○	—	—	fib PL2の仕様
16	CPE-2			○	—	○	fib PL2の仕様に防水工を付加

※略称の説明 切断：ホース端面で切断，PCM：ポリマーセメントモルタルによる被覆，防水：防水工
H5グラウトマニュアル：PCグラウト施工マニュアル（PC建協，平成5年版）

実験水準を表-1に示す。ホースの種類，呼び径およびホース切断面のあと処理は既報²⁾のままとした。供試体数は各3体とした。あと埋め部の充填材料には左官工法用のSBR系断面修復用ポリマーセメントモルタルを，防水材料には水性エポキシ樹脂配合複合塗膜防水材料を使用した。これらは実現場で一般的に使用されている材料である。

今回の実験では一旦湛水部を乾燥させた。真水の湛水開始から約15か月後にあたる2018年5月29日に，湛水を完全に取り除き，2018年9月21日までの約4か月間，湛水部に雨水などが溜まらないようシートで覆った状態で露天に暴露した。

2018年9月21日から湛水部に凍結防止剤を想定した15%NaCl水溶液を湛水させた。実橋における凍結防止剤の散布濃度は12%から飽和状態（湿塩散布）まで幅広く，滞水の塩分濃度も降雨などにより変動する。そのため湛水の塩分濃度は，暴露地である安芸高田市に近い三次市における2018年の厳冬の最低気温-5～-12℃，平均-8℃を考慮し，-8℃でも凍結しないNaCl水溶液の濃度から定めた。

2.2 塩化物イオン浸透状況の確認

確認の主な目的はホース周囲に浸透した塩化物イオンの分布状態を知ることとした。試験には供試体3体の内2体を使用した。湛水を、開始から約6か月となる2019年3月7日に終了させたのち、供試体の上面から、ホースを中心として直径130mmのコアを削孔した。コア供試体の割裂は写真-1に示すようにアムスラーを用いて行った。塩化物イオン浸透状況は供試体割裂面に硝酸銀を噴霧する方法により確認した。コンクリートが乾燥すると硝酸銀の反応が明瞭に現れないことがあるため、青木らの研究を参考にして³⁾、割裂面に蒸留水を噴霧し、表面がわずかに湿っている程度まで乾燥させたのち、0.1N硝酸銀溶液を噴霧して白色の沈殿境界部をトレースした。

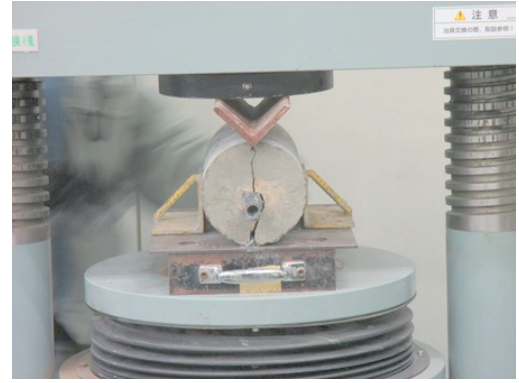


写真-1 コア供試体割裂状況

3. 実験結果

3.1 漏水の状況

既報²⁾では真水を湛水させた場合の2017年3月から2018年3月までの結果について報告した。塩水を湛水させた場合も、表面が平滑なホースの切断部のあと処理を行っていない実験水準1, 5, 9, 12 (記号FVC15-1, FVC19-1, PE-1, TV-1) では2018年11月5日に漏水が発生した。他の水準では暴露期間中に明確な漏水は認められなかった。漏水時期と気温の関係を図-2に示す。気温は暴露地の安芸高田市に近い三次市における気象庁の観測値である。漏水が確認された当日の最低気温は5℃、平均気温は10℃であり、漏水と漏水停止の境界となる気温は真水とほぼ同じであった。真水では厳冬期に湛水の凍結により漏水が停止したが、塩水では漏水の停止はみられず、湛水を終了した時点まで漏水は停止しなかった。

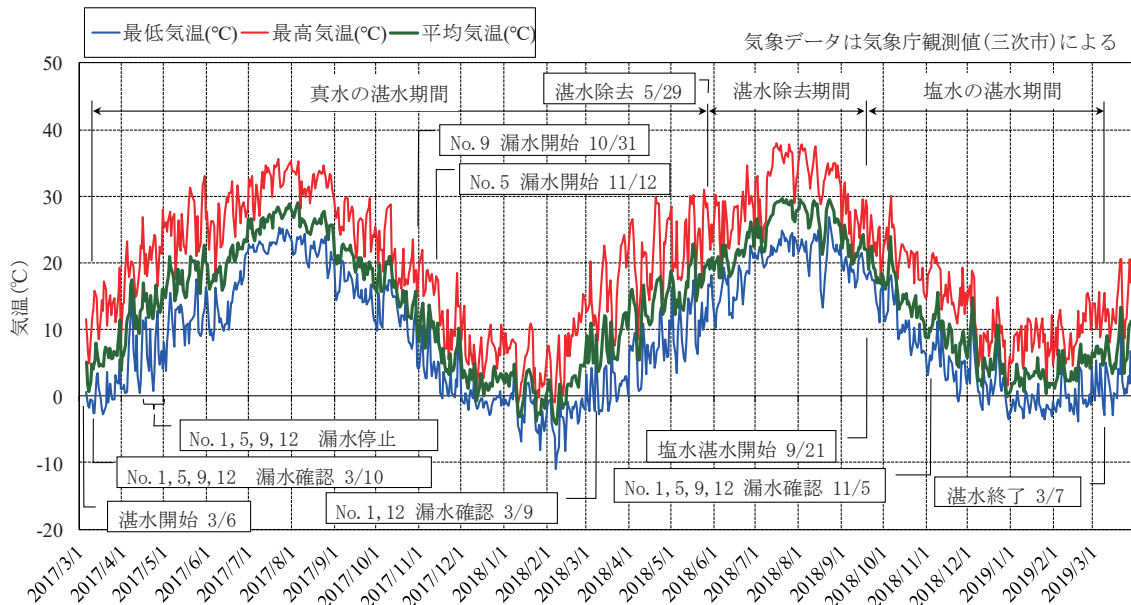


図-2 漏水時期と気温の関係

3.2 塩化物イオン浸透状況

実験結果を表-2に示す。硝酸銀溶液の噴霧は湛水側近傍のホースを剥がして行ったが、いずれの実験水準においても、グラウト面には明確な白色の沈殿物の生成は認められず、明瞭なグラウトホー

表-2 塩化物イオン浸透状況確認の結果

水準 番号	記号	塩化物イオン浸透深さと漏水発生の有無*					
		供試体1			供試体2		
		外周	内周	漏水	外周	内周	漏水
1	FVC15-1	全長	不明瞭	有	全長	無	有
2	FVC15-2	無	無	無	90mm	無	無
3	FVC15-3	無	無	無	30mm	無	無
4	FVC15-4	43mm	無	無	200mm	無	無
5	FVC19-1	全長	無	有	全長	無	有
6	FVC19-2	無	無	無	全長	無	無
7	FVC19-3	無	無	無	無	無	無
8	FVC19-4	全長	無	無	250mm	無	無
9	PE-1	全長	無	有	全長	無	有
10	PE-2	全長	無	無	230mm	無	無
11	PE-3	無	無	無	無	無	無
12	TV-1	全長	無	有	全長	無	有
13	TV-2	無	無	無	250mm	無	無
14	TV-3	無	無	無	無	無	無
15	CPE-1	25mm	無	無	35mm	無	無
16	CPE-2	15mm	無	無	30mm	無	無

※供試体上面からホース周囲の塩化物イオンの存在が確認された位置までの距離
(供試体上面からの塩化物イオンの拡散浸透, および供試体下面の伝い水による塩化物イオン浸透は含まない)

ス内周への塩化物イオン浸透は認められなかった。表面が平滑なホースを使用した実験水準1~14のうち, 漏水が確認された実験水準1, 5, 9, 12 (記号FVC15-1, FVC19-1, PE-1, TV-1) はホース周囲の全長で塩化物イオンの存在が確認された。代表例として供試体2 FVC15-1の状況を図-3に示す。伝い水の流路に塩化物イオンの存在が確認されたことから, 凍結防止剤を散布する地域では伝い水により塩害を生じる可能性が高いと言える。

一方, PCグラウトの設計施工指針 (以下, グラウト指針と略す) に従い⁴⁾, 箱抜き部でホースを切断し, 断面修復材によるあと埋めと防水工を行った実験水準3, 7, 11, 14 (記号FVC15-3, FVC19-3, PE-3, TV-3) では, 供試体2 FVC15-3を除きホースの周囲に塩化物イオンの存在が認められなかった。代表例として供試体1 TV-3の状況を写真-2に, 供試体2 FVC15-3の状況を図-4に示す。供試体2 FVC15-3ではあと埋めの角部に空洞があり, この充填不良部からの塩化物イオンの侵入が認められた。

グラウト指針のあと埋めの仕様から防水工を除いた実験水準2, 6 (記号FVC15-2, FVC19-2) は, 供試体1ではホース周囲に塩化物イオンの存在が認められなかったが,



図-3 供試体2 FVC15-1

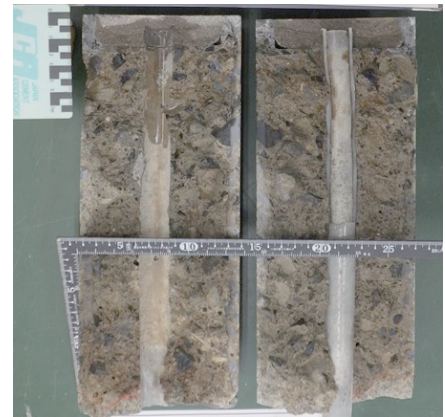


写真-2 供試体1 TV-3

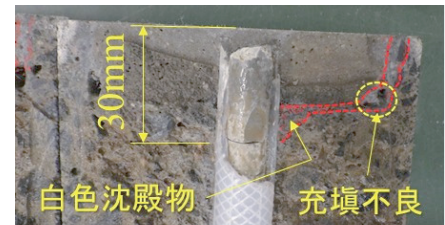
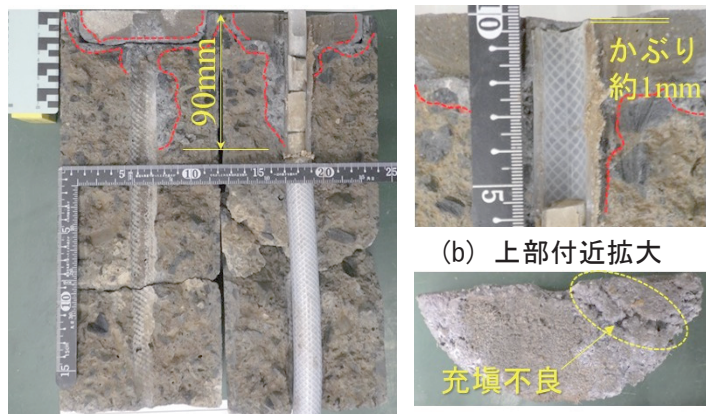


図-4 供試体2 FVC15-3 (あと埋め付近近を拡大)



(a) 供試体全景

(b) 上部付近拡大

(c) あと埋めの裏面

図-5 供試体2 FVC15-2

供試体2ではFVC15-2で90mm, FVC19-2では全長にわたって塩化物イオンの存在が確認された。図-5に供試体2 FVC15-2, 図-6に供試体2 FVC19-2の状況を示す。これらの供試体では目視で漏水は確認されなかったが, FVC15-2は箱抜き型の型枠面と断面修復材のホース周囲に白色沈殿が見られた。FVC15-2は断面修復材の充填が不完全であり, ホース切断部の断面修復材のかぶりも1mm程度と極端に小さかったことが原因と考えられる。

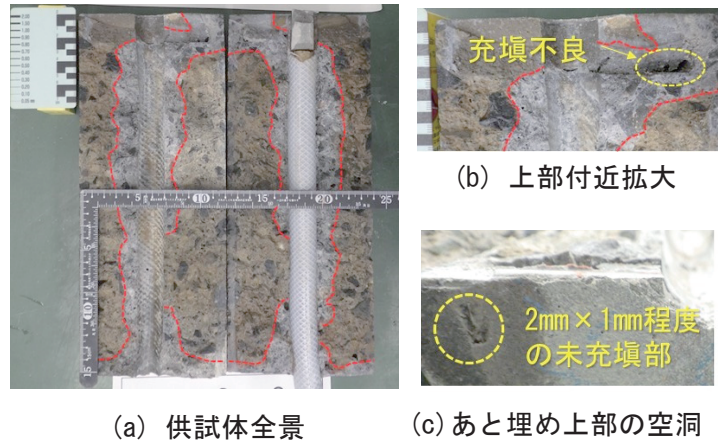


図-6 供試体2 FVC19-2

FVC19-2は箱抜き部との接着面付近のあと埋め上面に長さ2mm幅1mm程度のモルタル未充填部があり, 箱抜きの型枠面と断面修復材の接触面にも水みちとなる充填不良部が存在した。塩化物イオンの浸透を防ぐにはあと埋め部の施工が重要である。施工上の課題の解決策は4章で後述する。

また, 既設構造物の補修を想定し, ホース切断後に防水を施した実験水準4, 8, 10, 13 (記号FVC15-4, FVC19-4, PE-2, TV-2) では目視による漏水は確認されなかったが, これらの多くでホース周囲のほぼ全長にわたる塩化物イオンの存在が認められた。代表例として供試体1 PE-2の状況を図-7に示す。実験で用いた防水材料はコンクリートとの接着性は確認されているが, ホースの材料である塩化ビニルやポリエチレンとの接着性は確認されていない。実験ではホース切断部直上に防水工を施工したためホースとの接着性が不足し, 十分な防水効果を発揮できなかった可能性がある。



図-7 供試体1 PE-2

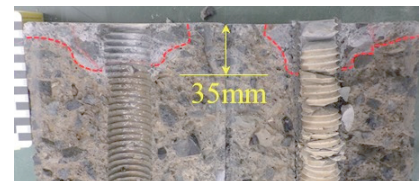


図-8 供試体2 CPE-1 (上面付近を拡大)

fibの勧告⁵⁾でのプロテクションレベルPL-2以上に適用されるコルゲートホースを用いた実験水準15, 16 (記号CPE-1, CPE-2) における塩化物イオンの浸透は, 切断処理のみのCPE-1で25~35mm, 防水工を施したCPE-2では15~30mmであった。代表例として供試体2 CPE-1の状況を図-8に示す。塩化物イオンの浸透は表面が平滑なホースを用いた場合に比べて抑制されており, コルゲートホースは伝い水の抑制効果に優れることが確認できた。しかし, 本実験の湛水期間は約6か月であり, 完全には伝い水を防止できていないため, 長期的に伝い水の抑制が可能であるか, さらに確認が必要と考えられる。

4. 各仕様の妥当性と施工上の留意事項

4.1 ホースのあと処理の仕様の妥当性

本実験では, グラウト指針のあと処理の仕様から防水工を除いた実験水準において, 断面修復材の充填が完全でない場合に, ホースのほぼ全長にわたるホース周囲の塩化物イオンの存在を確認した。一方, グラウト指針のあと処理の仕様に従った実験水準では, 大半で塩化物イオンの浸透が防止されており, 断面修復材の施工に問題があった場合でも塩化物イオンの浸透はわずかな範囲に留まった。このことから, 防水工はフェイルセーフとして有効に機能していると考えられる。したがって, 本実

験の範囲内では、現行のグラウト指針に示されるホースのあと処理の仕様は妥当なもの判断される。

国際的な仕様であるコルゲートタイプのホースを用いた場合、平滑なホースを用いた場合に比べて伝い水による塩化物イオンの浸透は大幅に抑制されていた。しかし、伝い水は完全には防止できておらず、長期的な伝い水の抑制効果も現時点では不明であるため、仕様の妥当性は判断できなかった。

4.2 あと埋めの施工における留意事項

本実験ではホースの切断位置とあと埋めの断面修復材の施工について課題が明らかになった。より良い品質を確保するための留意事項は以下のとおりである。

(1) グラウトホースの切断をできるだけ深い位置で行う

本実験で用いた供試体ではグラウトホース引出し部の切欠きを直径95mm、深さ20mmとした。グラウト指針の標準マニュアル5.10節にはホースの切断位置について明確な指示がなく、ホース引出し部の箱抜き寸法も幅60mm程度、深さ30mm程度が例示されているだけである。あと埋めの断面修復材によるホースのかぶりが小さいほど塩化物イオン浸透のリスクが高まることは自明であるため、グラウトホースの切断はできるだけ深い位置で行うのがよい。

(2) 断面修復材の施工を確実にを行う

ホースのあと埋めの場合、硬化前の断面修復材が剥落することがないため、箱抜き部を一度に埋めるのが一般的と考えられる。この場合、本実験で確認されたようにあと埋めを行う作業者の技能や施工の丁寧さのばらつきによって充填不良部を生じる可能性がある。例えば、補修工事において左官工法による断面修復を行う場合、所定のプライマーを塗布したあと、始めにコテ圧を加えながら5mm程度の厚さで断面修復材を充填し、何層かに分けて全層を施工するのが一般的である。充填不良の発生を防止するには、たとえ剥落の恐れがなくとも使用材料に応じた確実な施工を行うのがよい。

5. まとめ

本実験では、既報²⁾に用いた供試体を一度乾燥させ、湛水に15%NaCl水溶液を用いた条件で暴露試験を行った。本実験結果のまとめは以下のとおりである。

- (1) 塩水を湛水させた場合も、真水と同様に、漏水と漏水停止の境界温度は平均気温10℃、最低気温5℃以下であった。
- (2) 現行のグラウト指針におけるあと埋め部の処理方法の仕様は妥当なものと考えられる。
- (3) あと埋めにあたっては、ホースの切断位置と断面修復材の施工に留意する必要がある。

なお、供試体3体のうちの1体は現在も塩水の湛水を継続している。この供試体は来春に湛水を終了したのち、本稿と同様な確認試験を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 徳光卓ほか：グラウトホースの伝い水現象の検証ならびに補修技術に関する実験的検討，プレストレストコンクリート工学会第26回シンポジウム論文集，pp. 487-492，2017. 10
- 2) 徳光卓ほか：グラウトホースの種類および切断面処理方法が伝い水現象に与える影響，プレストレストコンクリート工学会第27回シンポジウム論文集，pp. 609-612，2018. 11
- 3) 青木優介ほか：硝酸銀溶液噴霧法による塩化物イオン浸透深さ測定におけるいくつかの経験的知見，コンクリート工学年次論文集，Vol. 35，No. 1，pp. 1843-1848，2013
- 4) プレストレストコンクリート工学会：PCグラウトの設計施工指針—改訂版—，H24. 12
- 5) Fib：Durability of post-tensioning tendons，Recommendation bulletin 33，2005. 12