

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：32702

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07298

研究課題名(和文) コンクリート系構造物に構造・非構造部材を取付ける接合要素の耐力と剛性評価法の確立

研究課題名(英文) Establishment of strength and stiffness evaluation method for joint parts of attaching structural / non-structural members to concrete structures

研究代表者

白井 佑樹 (SHIRAI, YUKI)

神奈川大学・工学部・助教

研究者番号：00779720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)： コンクリート系構造物に構造・非構造部材を取付ける接合要素として、頭付きアンカーボルトと接着系アンカーボルトを対象に、コンクリートのコーン状破壊耐力、アンカーボルトの曲げ降伏耐力そしてせん断力と水平変位での剛性の評価法の確立を目的とした研究を行った。
コーン状破壊耐力について、アンカーボルトにせん断力に加え引張力が作用し、その反力としてコンクリートに圧縮力が作用することでコーン状破壊耐力が低下することを示した。
剛性と曲げ降伏耐力について、弾性支承梁理論による評価を行い、精度よく算定できることを確認した。

研究成果の概要(英文)： For the headed anchor bolts and the bonded anchor bolts used for attaching structural and non-structural members to concrete structures, we studied aimed at establishing an evaluation method concerning with the following ;strength of cone-shaped fracture of concrete, bending yield strength of bolt and stiffness between shear force and horizontal displacement of anchor bolts.

As for strength of cone-shaped fracture of concrete, it showed that the cone-shaped fracture strength decreases by compressive force acting on concrete due to bending moment.

As for stiffness and flexural yield strength, we evaluated by the beam on elastic foundation theory and confirmed that it can be calculated accurately.

研究分野：建築構造

キーワード：頭付きアンカーボルト 接着系アンカーボルト コーン状破壊耐力 弾性支承梁理論 曲げ降伏耐力

1. 研究開始当初の背景

コンクリート系構造物に構造・非構造部材を取付ける接合要素として図1に示すようなアンカーボルトが用いられている。頭付きアンカーボルトはコンクリートを打設する前に設置する先付で、軸部がコンクリートと直接接触している。一方、接着系アンカーボルトはコンクリート硬化後にあと施工され、エポキシ等の接着剤が間に充填されている。

アンカーボルト周辺での地震被害として、東日本大震災ではアンカーボルト周辺のコンクリートのコーン状破壊によるコンクリート剥落により避難所の使用が制限された例¹⁾や、設備機器の転倒、損傷によって事業の継続性が脅かされる例²⁾などが生じた。これらの地震被害は、アンカーボルトに地震動による繰返しせん断力やせん断力と引張力の組合せ応力が作用したことが影響していたと考える。

また、近年コンクリート系構造物に制振ダンパーなどのデバイスを取付けることで、コンクリート系構造物の耐震性能、及び損傷性能を向上される研究がなされている³⁾。取付けにはアンカーボルトを基本とする接合要素が用いられており、接合箇所でのズレが大きいと取り付けたデバイスの性能を十分に発揮できない可能性がある。そのため、接合箇所破壊させないために把握する必要がある破壊耐力に加えて、破壊までに生じる変形や、作用する力と変形の関係を把握することが重要だと考える。

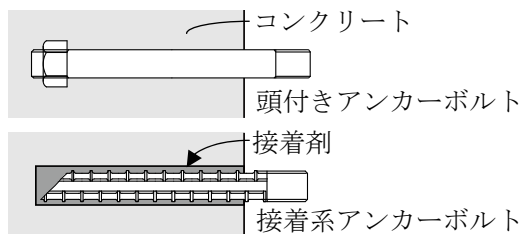


図1 アンカーボルト

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ本研究では、コンクリートとの接合方法が異なる頭付きアンカーボルトと接着系アンカーボルトを対象に、アンカーボルトの周辺コンクリートのコーン状破壊耐力についてアンカーボルトがせん断力に加え、引張力との組合せ応力を受けたときの検討、アンカーボルトが力を受けて変形する程度を表す剛性の検討を目的とする。またこれらを検討するなかで、アンカーボルトが曲げ降伏によって決まる、曲げ降伏耐力についても検討した。

図1に示すように、頭付きアンカーボルトと接着系アンカーボルトはコンクリートとの接合方法が異なる。そのため、アンカーボルトに力が作用したときの抵抗機構が異なる。せん断力が作用したとき、頭付きアンカーボルトでは直接コンクリートが力を受けるが、接着系アンカーボルトでは接着剤を介

してコンクリートが力を受ける。引張力が作用したとき、頭付きアンカーボルトは先端の頭部が抵抗するが、接着系アンカーボルトは全長にわたって抵抗する。抵抗機構の違いが以下の実験でどのような影響を及ぼすのか検討する。

アンカーボルトの周辺コンクリートのコーン状破壊耐力について、脆性的な破壊であり避けるべき破壊形式であることから、これまで多くの実験研究が行われ、耐力算定式が提案されてきた。それらの実験の多くがアンカーボルトに純せん断力が作用した場合を想定している。しかし実際の使用条件ではせん断力に加えて引張力との組合せ応力が作用するケースが多い。アンカーボルトに作用する引張力に釣合うための反力として圧縮力がコンクリートに作用することで、コンクリートのコーン状破壊耐力が低下する可能性があり、組合せ応力がどのように影響を及ぼすのか検討する。

力を受けて変形する程度を表す剛性について、既存不適格建築物の耐震補強における接合部でのズレ変形を把握することを目的として、現在様々な研究が行われている段階⁴⁾であるが、その多くが実験結果を解析し回帰分析により実験式を導出する手法で行われている。そのため研究者によって実験パラメータが異なるため包括画一的な評価には至っておらず、ばらつきも大きい。本研究では、使用されている材料特性に基づいて導出した算定式の提案を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、実験による検討を行った。

コンクリートのコーン状破壊耐力に関して、図2に示す実験を行った。試験体は鉄骨の置き屋根が鉄筋コンクリート柱の柱頭に頭付きアンカーボルトで固定された接合部を模擬し、無筋コンクリートのブロックとコンクリートに埋込まれた頭付きアンカーボルトからなる。アンカーボルトからコンクリート端までのはしあき距離は100mmとした。実構造物では鉄筋を配した鉄筋コンクリートが使われるが、鉄筋はコンクリートがコーン状破壊してから力を負担するので、コーン状破壊耐力を明確にするために試験体は無

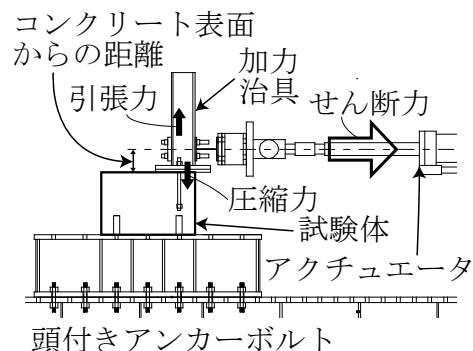


図2 実験セットアップ
コンクリートコーン状破壊耐力に関して

筋コンクリートとした。

実験パラメータは、コンクリート表面からのせん断力を与える位置までの距離とした。コンクリート表面の位置にせん断力を与えた場合（距離が零）はアンカーボルトに作用する力は純せん断力となる。コンクリート表面からせん断力が作用する位置を離すことで、アンカーボルトにせん断力に加え引張力を、コンクリートに圧縮力を作用させた。

アンカーボルトが力を受けて変形する程度を表す剛性の検討について、本研究では、せん断力と水平変位に着目し、図3に示す実験を行った。試験体は無筋コンクリートのブロックとコンクリートに埋込まれた頭付きアンカーボルトまたは接着系アンカーボルトからなる。この試験体は実構造物の一部を模擬したものではなく、剛性の検討を行うためにアンカーボルトによる接合部を単純化されている。

また、アンカーボルトと加力治具の接合方法について、これまでの実験⁵⁾の多くは図4(a)に示すようにナットを用いて固定することが多く、固定端での曲げ戻しによる曲げモーメントが生じる。しかし、耐震補強等でコンクリート間のせん断力をアンカーボルトによって伝達する場合を対象とすると、アンカーボルトの変形状態や、接合面の曲げモーメントが零になることを再現できていない。また後述するように、剛性を評価するためのモデル化では弾性支承梁を用いるために、境界条件を明確にする必要がある。そこで本研究では、図4(b)に示すように、固定端での曲げモーメントが作用しないように、せん断力を与える点をピンに模擬できるような加力治具を製作し実験した。

剛性を評価するためのモデルには、図5に示すような、アンカーボルトを弾性梁にその周辺コンクリートを弾性支承に置換する弾性支承梁理論を用いた⁵⁾

4. 研究成果

コンクリートのコーン状破壊耐力について、実験の結果、全ての試験体でコーン状破壊が生じた。図6にコーン状破壊が生じたときのせん断力を純せん断力を受けたときのコーン状破壊耐力の算定値⁶⁾で除した値とコンクリート表面からのせん断力を与える位置までの距離の関係を示す。コンクリートに作用する圧縮力は、距離が零（純せん断力）では零で、距離が大きくなるほど大きくなる。

図6より、コンクリート表面からのせん断力を与える位置までの距離が零のとき、コーン状破壊が生じたときのせん断力を算定値で除した値は1.0程度であり、純せん断力下での算定式の精度を確認できた。

一方、コンクリート表面からのせん断力を与える位置までの距離が大きくなると、コーン状破壊が生じたときのせん断力を算定値で除した値は小さくなり、1.0を下回った。このことから、アンカーボルトにせん断力に

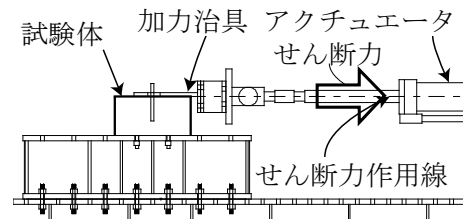
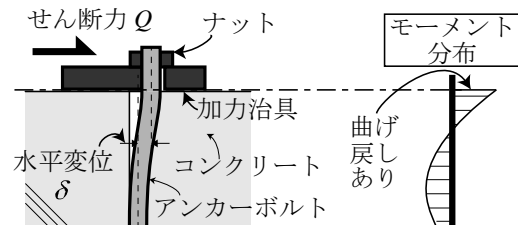
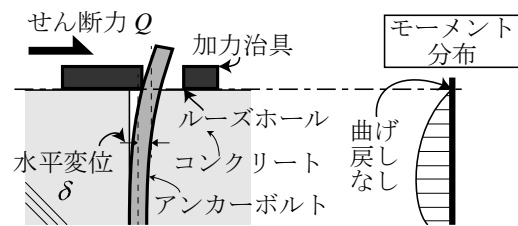


図3 実験セットアップ
剛性に関して



(a) これまでの実験⁵⁾



(b) 本研究での実験

図4 アンカーボルトと加力治具の接合方法

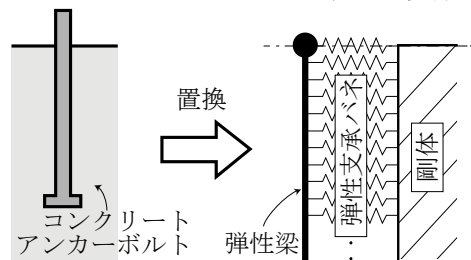


図5 アンカーボルトと周辺コンクリートの弾性支承梁への置換

コーン状破壊が生じたときのせん断力を純せん断力を受けたときのコーン状破壊耐力の算定値で除した値

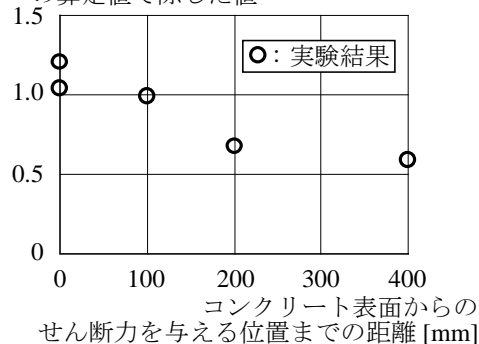


図6 コーン状破壊耐力について

加えて引張力が作用し、コンクリートに圧縮力が作用することで、コンクリートのコーン状破壊耐力が低下することが分かった。つまり、本実験パラメータの範囲では、同じせん断力を受ける場合でも、その作用位置がコンクリート表面から離れることで、コーン状破壊が生じやすくなる。

アンカーボルトのせん断力と水平変位の関係について、図7にせん断力と水平変位の関係、せん断力と鉛直変位の関係を示す。せん断力と水平変位の関係において、加力初期は一定の剛性でせん断力が増大し、せん断剛性は軸径が大きいほど大きい。せん断力の増大に伴い剛性は緩やかに低下した。このとき、アンカーボルトは曲げ降伏したと考える。また曲げ降伏後の剛性の低下の割合は、軸径が小さいほど大きい。これはアンカーボルトとコンクリートの接触面積の違いが影響していると考えられる。

本実験では、図4に示すように加力治具とアンカーボルトが固定されていないため、加力治具の浮き上がりが懸念された。図7のせん断力と鉛直変位の関係において、せん断力の増大に伴い加力治具が浮き上がっている。しかし、アンカーボルトが曲げ降伏したと思われるときの鉛直変位は0.5mm程度、回転角は0.005rad以下と十分小さく、せん断剛性、せん断耐力に与える影響は小さいと考える。

剛性と曲げ降伏耐力の評価には、弾性支承梁理論を用いた。弾性支承梁理論による算定結果を図7に重ねて示す。

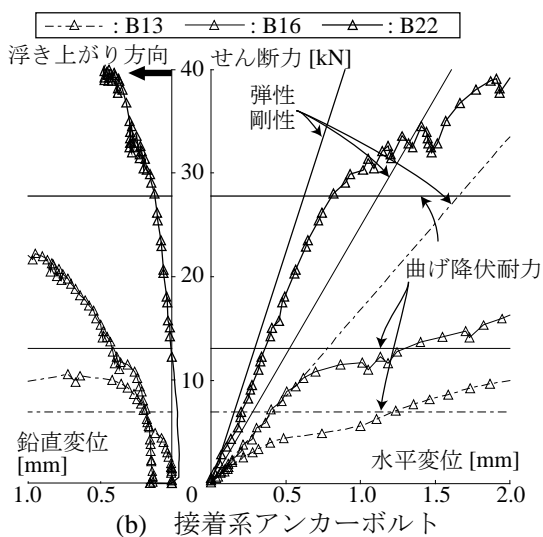
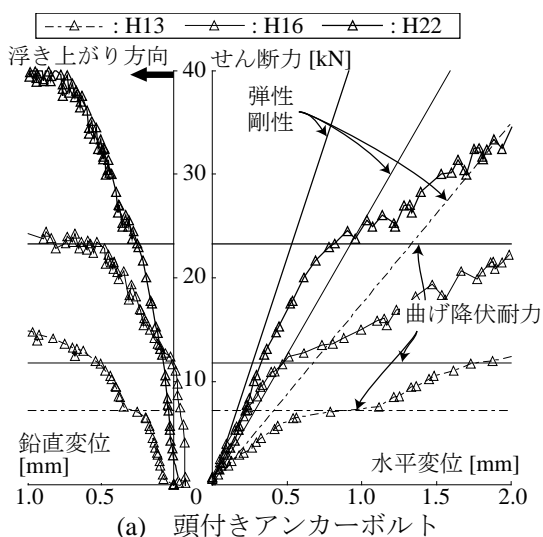


図7 せん断力と水平変位の関係、せん断力と鉛直変位の関係

図7のせん断力と水平変位の関係において弾性支承梁理論によるせん断弾性剛性は実験結果と比べ、頭付きアンカーボルトでは2割程度、接着系アンカーボルトでは3割程度大きく算定する傾向にあった。また、弾性支承梁理論によるアンカーボルト曲げ降伏時せん断耐力は、実験結果で剛性の低下が確認できるせん断力より大きい傾向にある。これはコンクリート表面剥離により、境界条件が変化したためだと考える。また接着系アンカーボルトでは、接着剤の影響を考慮できていないことも一因だと考える。

参考文献

- 1) 吉敷祥一, ほか: 東北地方太平洋沖地震等による鉄骨造文教施設の柱脚・定着部被害, 日本建築学会技術報告集, Vol.19, No.42, pp.585-590, 2013.06
- 2) (一社)日本機械学会: 東日本大震災合同調査報告 機械編 2013.07
- 3) 西村勝尚, ほか: 連結制振構造を適用した超高層RC造建物の制振効果, 日本建築学会技術報告集, Vol.14, No.28, pp.4147-422, 2008.10
- 4) 阿部隆英, ほか: 反力係数を用いて補強部と既存部の挙動を評価した接着系あと施工アンカーの力学モデル, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.2, 2018
- 5) 白井佑樹, ほか: 一方向せん断力を受ける頭付きアンカーボルトと接着系アンカーボルトへの弾性床梁理論の適応とその整合性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.724, 2016.06
- 6) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 2010.11

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1件)

- 1) Y. Shirai and K. Shimazaki :Application of beam-on-elastic-foundation theory to single anchor bolts under monotonic shear force 42nd Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES, 403-410 (2017. 8).

6. 研究組織

(1)研究代表者

白井 佑樹 (SHIRAI, Yuki)
 神奈川大学・工学部・助教
 研究者番号: 00779720